

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta stavební**

**Katedra konstrukcí**

**Ocelová konstrukce rozhledny**

**Steel structure of lookout tower**

**Student :**

**Vítězslav Širocký**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Dr.Ing.Tomáš Novotný**

**Ostrava 2016**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Vítězslav Širocký**

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607R037 Konstrukce staveb

Téma:

Ocelová konstrukce rozhledny  
Steel structure of lookout tower

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte projekt nosné ocelové konstrukce rozhledny. Práce bude obsahovat:

- přehled požadavků na konstrukci,
- dispoziční návrh,
- diskusi k různým alternativám řešení,
- realizační projekt konstrukce, který zahrnuje technickou zprávu, statický výpočet konstrukce (velká statika), návrh rozhodujících detailů (malá statika), potřebnou výkresovou dokumentaci a projekční výkazy materiálu.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1990 Eurokód: zásady navrhování konstrukcí. ČNI.

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI.

ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků, ČNI. Včetně změn, oprav a dodatků.

Studnička J., Holický M.: Ocelové konstrukce 20 – Zatížení staveb. ČVUT Praha, 1998.

Studnička J.: Ocelové konstrukce 10 – Normy pro navrhování. ČVUT Praha, 2003.

Wald F.: Ocelové konstrukce 10 – Tabulky. ČVUT Praha, 1999.

Wald F.: Prvky ocelových konstrukcí – Příklady podle Eurokódů. ČVUT Praha, 1998.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Dr.Ing. Tomáš Novotný**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 2. 5. 2016

.....

podpis studenta

**Prohlašuji:**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb.– autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB -TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 2.5.2016

.....

podpis studenta

## **Anotace bakalářské práce**

Bakalářská práce se zabývá vypracováním realizačního projektu ocelové konstrukce rozhledny. Za architektonické řešení rozhledny byla vybrána ocelová rozhledna ve městě Rokycany, ke které bylo vytvořeno alternativní řešení. Po diskuzi k alternativním řešením byla vybrána jedna varianta pro podrobnější zpracování. Toto zpracování obsahuje tvorbu výpočtového modelu, stanovení zatížení (stálých, užitných a klimatických), statické posouzení vybraných prutů, spojů, kotvení a v neposlední řadě také tvorbu projektové dokumentace. Pozornost byla věnována především zatížení větrem a námrazou dle Eurokódu 1. Cílem práce byla tvorba realizačního projektu zahrnujícího technickou zprávu, statický výpočet a projektovou dokumentaci.

## **Klíčová slova**

Rozhledna, ocelová příhradová věž, ocelové rošty, vyhlídková plošina, nárožník, ztužení, obruče, zatížení větrem, součinitel konstrukce, referenční plocha, dynamický tlak větru, vzpěr, klopení, profil, průřez, kotvení, základová patka

## **Anotace bakalářské práce v anglickém jazyce**

This bachelor thesis is about elaboration of a steel construction of the observation tower for an implementation project. I chose the observation tower in Rokycany like the architectural solution for my work and with it I created one more alternative solution. After comparing both alternatives, I choose the best variant for further processing. This process includes the creation of a computational model, load determination (constant load, payload and climatic load), structural assessment of selected bars, joints, anchorage, and at the end the creation of project documentation. The attention was focused on the wind load and frost load according to Eurocode 1. The aim of the work was the creation of an implementation project involving technical report, structural analysis and project documentation.

## **Klíčová slova v anglickém jazyce**

Observation tower, steel lattice tower, steel gratings, viewing platform, angle, bracing, band, wind load, coefficient of construction, reference area, dynamic wind pressure, struts, pitching, profile, cross-section, anchorage, spread footing

# Obsah bakalářské práce

1	Úvod .....	3
2	Architektonické řešení .....	4
3	Geometrie konstrukce .....	5
3.1	Základní údaje .....	5
3.2	Předběžný odhad profilů.....	5
3.3	Model konstrukce .....	6
3.4	Podepření konstrukce .....	7
4	Zatížení .....	8
4.1	Zatížení stálé .....	8
4.1.1	Vlastní tíha.....	8
4.1.2	Ostatní stálé zatížení .....	8
4.2	Zatížení užité .....	10
4.2.1	Vyhlídkové plošiny .....	10
4.2.2	Schodiště .....	11
4.3	Zatížení sněhem .....	12
4.4	Zatížení větrem .....	13
4.4.1	Základní rychlost větru $v_{b,0}$ .....	14
4.4.2	Součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$ .....	14
4.4.3	Součinitel ortografie $c_o(z)$ .....	14
4.4.4	Střední rychlost větru $v_m(z)$ .....	15
4.4.5	Turbulence větru $I_v(z)$ .....	15
4.4.6	Maximální dynamický tlak $qp(z)$ .....	15
4.4.7	Součinitel konstrukce $c_s c_d$ pro směr 1 .....	16
4.4.8	Součinitel konstrukce $c_s c_d$ pro směr 2 .....	21
4.4.9	Síly od větru.....	26
4.5	Zatížení námrazou .....	29
5	Zatěžovací stavy a kombinace.....	33
	Kombinace.....	34
6	Posouzení jednotlivých konstrukčních prvků .....	42
6.1	Vřetenový sloup schodiště .....	42
6.1.1	Dominantní kombinace .....	43
6.1.2	Posouzení pevnosti .....	43
6.1.3	Posouzení stability .....	44

6.2	Hlavní ztužení konstrukce .....	46
6.2.1	Dominantní kombinace .....	46
6.2.2	Posouzení pevnosti .....	47
6.2.3	Posouzení stability .....	48
6.2.4	Vyhodnocení .....	50
6.3	Obruče.....	51
6.3.1	Dominantní kombinace .....	52
6.3.2	Posouzení pevnosti .....	52
6.3.3	Posouzení stability .....	53
6.4	Podpěry vyhlídkové plošiny .....	55
6.4.1	Dominantní kombinace .....	55
6.4.2	Posouzení pevnosti .....	56
6.4.3	Posouzení stability .....	57
6.5	Obvodové nosníky vyhlídkové plošiny .....	58
6.5.1	Dominantní kombinace .....	58
6.5.2	Posouzení pevnosti .....	59
6.5.3	Posouzení stability .....	60
6.6	Horní část nárožníků .....	63
6.6.1	Posouzení stability .....	64
6.7	Spodní část nárožníků .....	65
6.7.1	Posouzení stability .....	66
7	Technická zpráva .....	67
	Popis konstrukce .....	67
	Materiál, hmotnost OK .....	68
	Montážní dělení, způsob montáže.....	68
	Ochrana proti korozi .....	68
	Požadavky na výrobu a montáž.....	68
	Elektroinstalace a uzemnění .....	68
8	Kotvení rozhledny .....	69
8.1	Smyková zarážka .....	69
9	Závěr.....	75
10	Seznam použitých materiálů .....	76
	Odborná literatura .....	76



# 1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá tvorbou realizačního projektu ocelové konstrukce rozhledny. Výchozím parametrem práce bylo zvolení netypického, architektonického řešení rozhledny. Pro tento účel byla vybrána ocelová konstrukce rozhledny ve městě Rokycany.

Téma práce bylo vybráno z důvodu prohloubení znalostí o výškových, ocelových, příhradových věžích a jejich problematice při stanovení zatížení. Dalším důvodem bylo osvěžení, taky doplnění znalostí v oblasti navrhování ocelových konstrukcí dle EUROKÓDU.

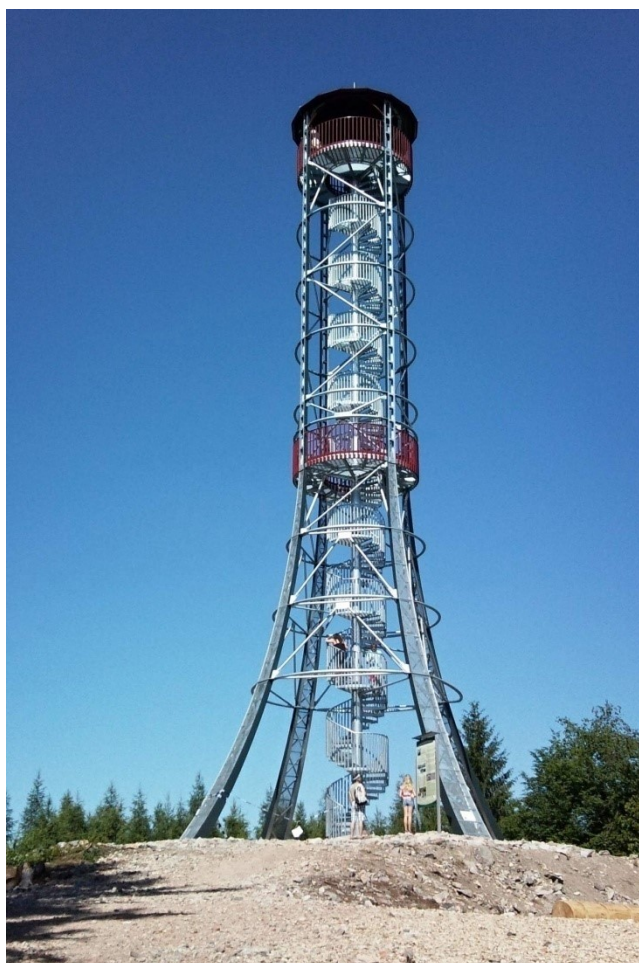
Ocelová konstrukce je navržena tak aby odolávala zatížení, které se vyskytují v její lokalitě a na zatížení, která se mohou vyskytnout během její životnosti. Tato zatížení byla stanovena v souladu s EN 1991.

Model konstrukce byl vytvořen v softwaru SCIA Engineer 2014, výstupní hodnoty ze softwaru byly použity pro optimalizaci návrhu ocelové konstrukce.

## 2 Architektonické řešení

Za architektonické řešení zvolena již stojící, reálná konstrukce. Jedná se o ocelovou rozhlednu ve městě Rokycany viz obr. 1.1. Rozhledna byla vybrána pro její netypickou architektonickou podobu.

Konstrukční řešení vychází z tohoto architektonického řešení. Hlavními prvky konstrukce jsou 4 nárožníky a vnitřní trubka, na které bude osazeno vřetenové schodiště. Nárožníky vycházejí z betonových patek a mají profil ze 2 svařovaných profilů U 580x160, které jsou v patce od sebe vzdáleny cca. 1000mm. Nárožníky po výšce mění svůj profil a přechází až do členěného profilu ze dvou U140. Mezera mezi profily je překryta tahokovem.



*Obr.:1.1 Rozhledna Na Kotli v Rokycanech*

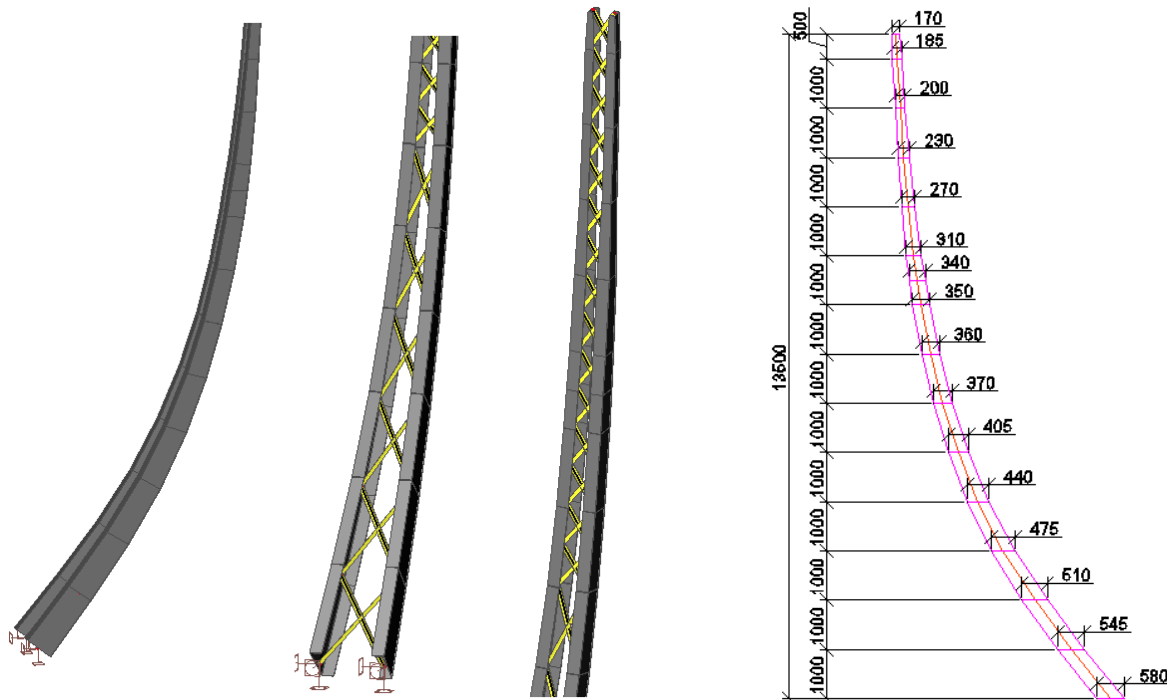
## 3 Geometrie konstrukce

### 3.1 Základní údaje

- |                                     |                      |
|-------------------------------------|----------------------|
| • Výška konstrukce                  | 28,75 m              |
| • Průměrná šířka konstrukce         | 6,1 m                |
| • Půdorysná plocha v úrovni základů | 13x13 m              |
| • Výška vyhlídkové plošiny          | 26 m                 |
| • Vnější průměr v horní části       | 4,5 m                |
| • Plocha vyhlídkové plošiny         | 12,76 m <sup>2</sup> |

### 3.2 Předběžný odhad profilů

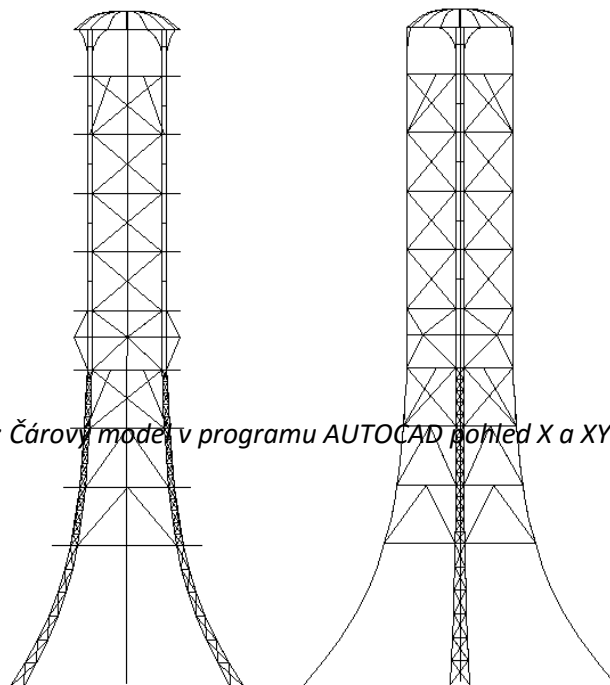
- |                              |           |
|------------------------------|-----------|
| • Nárožník ve spodní části   | Viz Obr.1 |
| • Nárožník v horní části     | U 140     |
| • Obruče                     | TR 100x4  |
| • Hlavní ztužení             | TR 70x5   |
| • Obruče vyhlídkové plošiny  | U 140     |
| • Nosníky vyhlídkové plošiny | IPE 120   |
| • Vřetenový sloup schodiště  | RO 350x10 |



Obr.1.1. : Dolní nárožník svařovaný z plechů tvoří dvě pásnice tvaru U proměnného průřezu a výplet z L profilů. Vlevo model nárožníku v programu SCIA, vpravo geometrie pásnice.

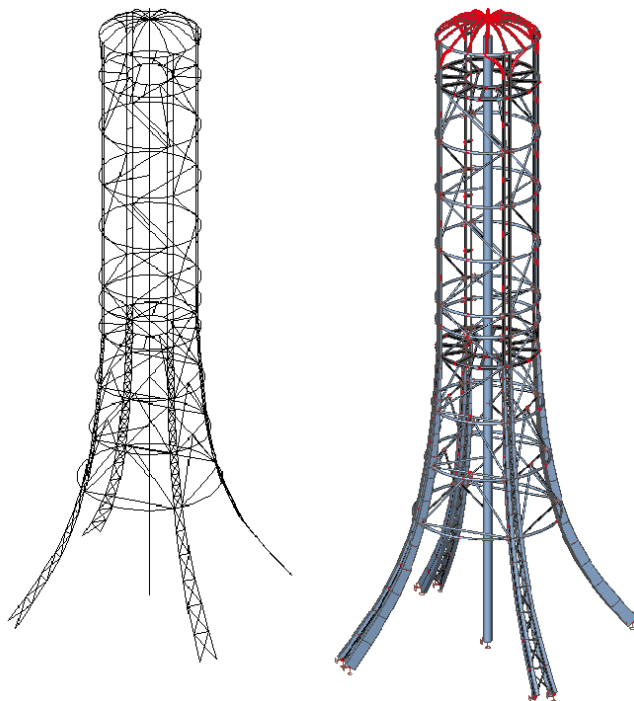
### 3.3 Model konstrukce

#### Pohledy na konstrukci



*Obr.1.2. : Čárový model v programu AUTOCAD pohled X a XY na konstrukci.*

#### Axonometrie konstrukce



*Obr.1.3. : Axonometrické modely konstrukce*

### **3.4 Podepření konstrukce**

Ocelová konstrukce je založena na 5-ti betonových patkách. Jedna z patek se nachází pod trubkou, která je nosným prvkem vřetenového schodiště. Další čtyři patky se nachází pod jednotlivými nárožníky rozhledny. Tyto patky jsou dimenzovány částečně jako tížné a to z důvodů zamezení převrácení rozhledny a zachycení tahových sil, které vznikají při zatížení větrem.

## 4 Zatížení

### 4.1 Zatížení stálé

#### 4.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce je stanovena automaticky v programu SCIA Engineer.

Měrná hmotnost oceli :  $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.1.2 Ostatní stálé zatížení

##### *Ocelové rošty vyhlídek*

Položka	$g_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$
Ocelový rošt SP 30x30/40x3	0,375

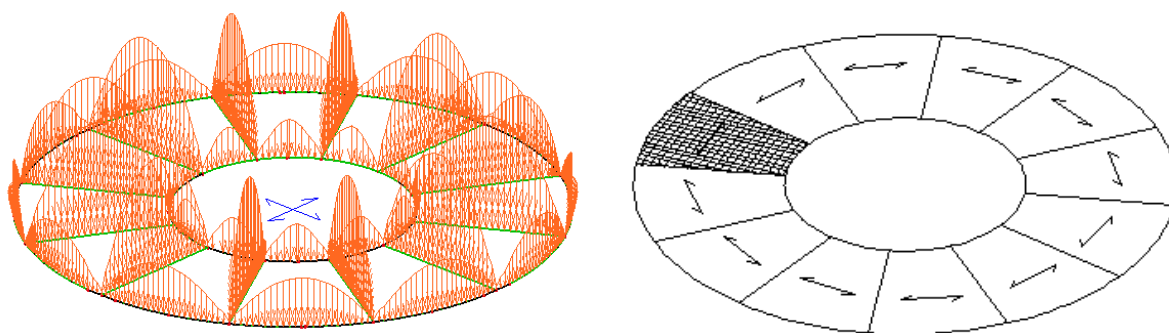
Na vyhlídkových plošinách je použit ocelový rošt s velikostí oka 30x30 mm a nosným prutem 40x3 mm. Rošty jsou kladeny nosným prutem ve směru kratšího rozpětí, tedy tangenciálně dle Obr.2.1.

Tab.2.1: Posouzení únosnosti roštů.

Ocelový rošt SP 30x30/40x3						
Plošné [kN/m <sup>2</sup> ]				Soustředěné [kN]		
Zatížení		Únosnost	Ověření	Zatížení	Únosnost	Ověření
Kat.C5	5	29,8	Vyhovuje	4,5	4,55	Vyhovuje
Kat.C3	5	29,8	Vyhovuje	4	4,55	Vyhovuje

Plošné, stálé zatížení vyvoláno těmito rošty je převedeno na spojitě nerovnoměrné zatížení, které působí na jednotlivé nosníky vyhlídkové plošiny.

Pozn. : Roznos zatížení je realizován v programu SCIA Engineer pomocí zatěžovacích panelů.

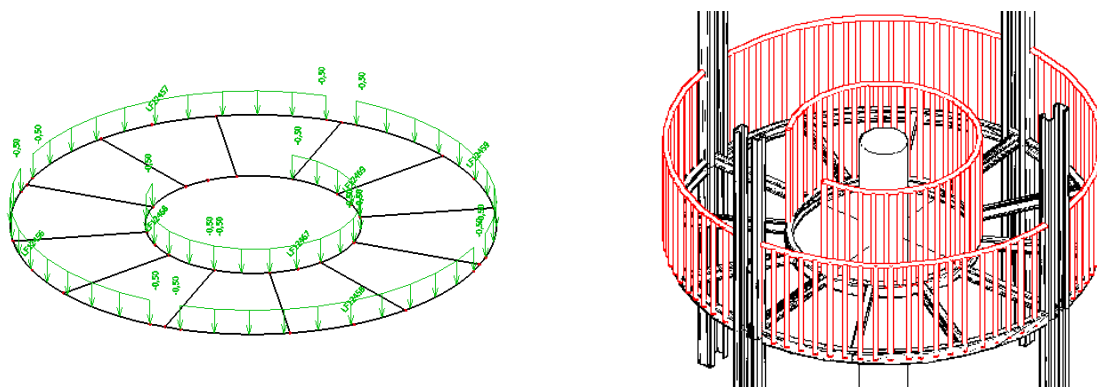


Obr.2.1: Vlevo zatížení vyhlídek ocelovými rošty, vpravo směr uložení nosných prutů roštů.

##### *Zábradlí vyhlídek*

Položka	$g_k \text{ [kN/m]}$
Zábradlí	0,3

Na obou plošinách je umístěno zábradlí se svislou výplní o výšce 1100mm dle Obr.2.2. Zábradlí bude provedeno s trubek profilu RO 44,5x3,2 s mezerou mezi svislou výplní 100 mm.



Obr.2.2.: Zatížení vyhlídek zábradlím a vizualizace

### Zábradlí schodiště

Položka	$g_k$ [kN/m]
Zábradlí	0,3

Schodišťové stupně jsou započítány v zatížení vlastní tíhy, tudíž je počítáno pouze s vnějším schodišťovým zábradlím.

- Výška schodišťového stupně 0,225 m
- Sklon zábradlí 24°
- Průměr schodiště Ø 1,95 m
- Počet schodů mezi vyhlídkami 60

### Délka schodišťového zábradlí mezi vyhlídkami

$$l_1 = \frac{5 \cdot \pi \cdot d}{\cos(24^\circ)} = \frac{5 \cdot \pi \cdot 1,95}{\cos(24^\circ)} = 33,53 \text{ m}$$

$$l_2 = \frac{4,5 \cdot \pi \cdot d}{\cos(24^\circ)} = \frac{4,5 \cdot \pi \cdot 1,95}{\cos(24^\circ)} = 30,18 \text{ m}$$

$l_1$  délka zábradlí po první vyhlídkovou plošinu

$l_2$  délka zábradlí od první vyhlídkové plošiny po druhou

### Zatížení schodu

$$G_{k1} = 33,53 \cdot 0,3 / 60 = 0,167 \text{ kN}$$

$$G_{k2} = 30,18 \cdot 0,3 / 60 = 0,151 \text{ kN}$$

Pozn.: Je uvažováno že zatížení roznášejí všechny schody rovnoměrně.

## Střešní plášť

Položka	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
plechová krytina 8 mm	0,628
separační folie	0,006
dřevěné bednění	0,126

Střešní plášť rozhledny je navržen jako plechová krytina na dřevěném bednění. Na nosné ocelové konstrukci budou přichyceny pomocné dřevěné krokve, které budou mít horní hranu opravenou dle požadovaného tvaru střechy, mezi ocelovou konstrukcí a dřevěnými částmi bude vložena asfaltová lepenka. Na dřevěných krovkách bude dále provedeno dřevěné bednění, na něm bude položena separační fólie s distančními nopy, která bude sloužit jako podklad pro plechovou krytinu.

Zatížení bylo rovnoměrně rozloženo mezi jednotlivé pruty konstrukce stříšky a je zahrnuto v ostatních stálých zatíženích.

## 4.2 Zatížení užité

Tab.2.2 :Svislá užitná zatížení

Použití - kategorie	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Vyhlídková plošina - C5	5,0
Schodiště - C3	5,0

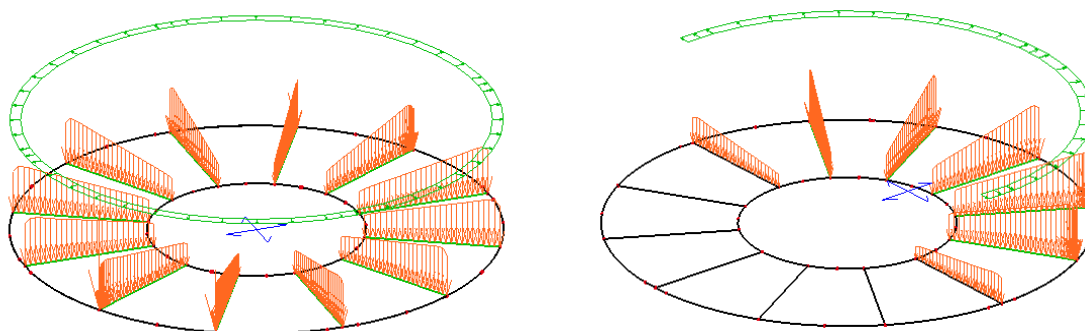
Tab.2.3. :Vodorovná užitná zatížení

Použití	$q_k$ [kN/m]
Opření osob o madlo zábradlí	1,2

### 4.2.1 Vyhlídkové plošiny

Zatížení vyhlídkové plošiny je uvažováno jako užité zatížení kategorie C ( plochy, kde může dojít k nahromadění lidí, např. budovy pro veřejné akce, jako jsou koncertní sály, sportovní haly, včetně tribun, teras, a přístupných ploch, atd.) dle normy [1]. Vodorovné zatížení simuluje opření osob o madlo zábradlí ve výšce 1100 mm s hodnotou 1,2 kN/m.

Plošné zatížení je roznášeno pomocí ocelových roštů, které zatížení roznesou ve směru hlavního nosníku, tedy na vnitřní nosníky vyhlídkové plošiny.



Obr.2.4. :Celé a poloviční užité zatížení vyhlídkové plošiny.



#### 4.2.2 Schodiště

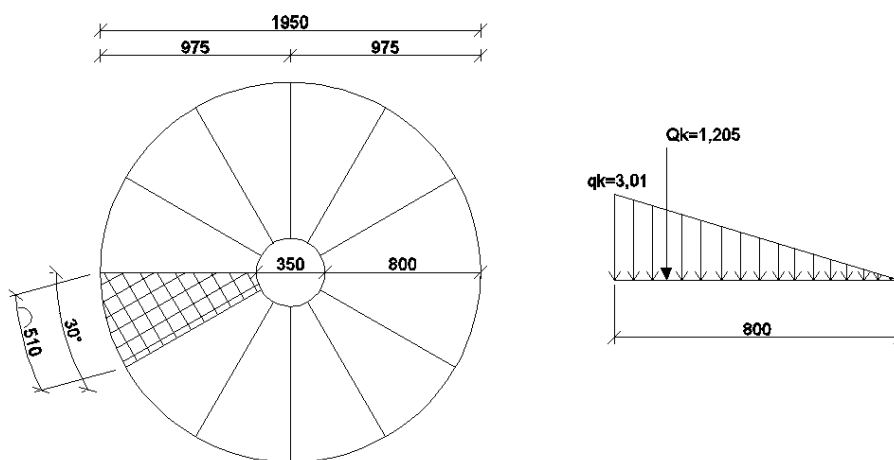
Plošné zatížení působící na schodiště bylo převedeno na nerovnoměrné, trojúhelníkové zatížení. Opření osob o schodišťové zábradlí se neuvažuje.

$$S_{\text{stupeň}} = \frac{(\pi \cdot 975^2 - \pi \cdot 175^2)}{12} = 0,241 \text{ m}^2$$

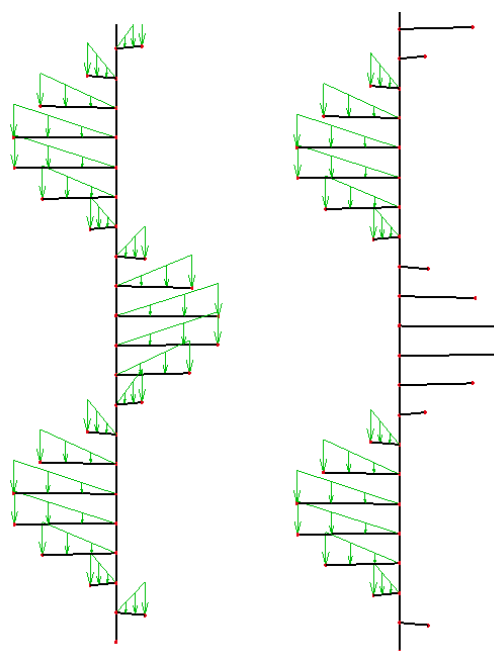
$$q_k = 5 \text{ kN/m}$$

$$Q_k = q_k \cdot S_{\text{stupeň}} = 5 \cdot 0,241 = 1,205 \text{ kN}$$

$$q_{\Delta} = \frac{2 \cdot Q_k}{0,8} = \frac{2 \cdot 1,205}{0,8} = 3,01 \text{ kN/m}$$



Obr.2.6.: Zatížení schodišťového stupně



Obr.2.7.: Užité zatížení působící na schodišťový stupeň. Vlevo celé, vpravo poloviční.

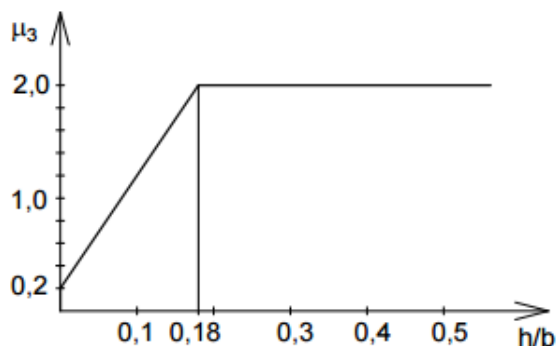
### 4.3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je vypočteno dle ČSN EN 1991-1-3.

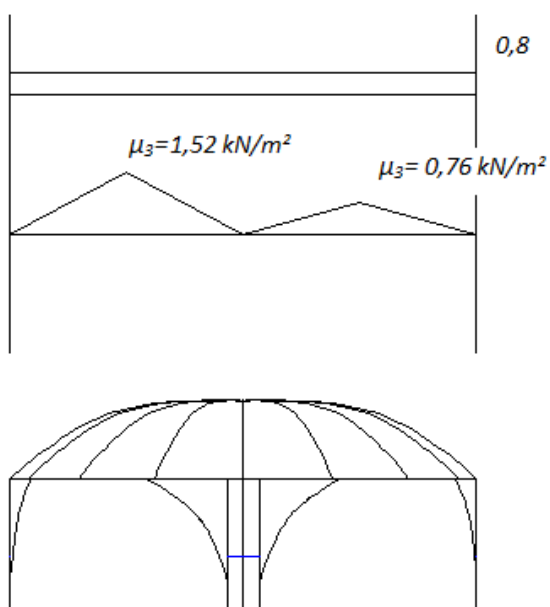
$$s = C_t \cdot C_e \cdot \mu_3 \cdot S_k = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,9 \cdot 1,0 = 1,52 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{1/2} = \frac{s}{2} = \frac{1,52}{2} = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

- Součinitel expozice :  $C_e=0,8$  (otevřený typ krajiny)
- Teplotní součinitel :  $C_t=1,0$  (doporučená hodnota)
- Charakteristická hodnota zatížení sněhem :  $S_k= 1,0 \text{ kN/m}^2$  (Rokycany - II sněhová oblast)
- Tvarový součinitel zatížení sněhem pro nenavátý sních :  $\mu_3= 1,9$  (viz Obr.2.)
- Poměr výšky k šířce :  $h/b = 0,167$



Obr.2.8.: graf pro stanovení tvarového součinitele  $\mu_3$



Obr.2.8.: Zatížení nenavátým (horní), navátým (dolní) sněhem.

## 4.4 Zatížení větrem

Výpočet proveden dle normy ČSN EN 1991-1-4

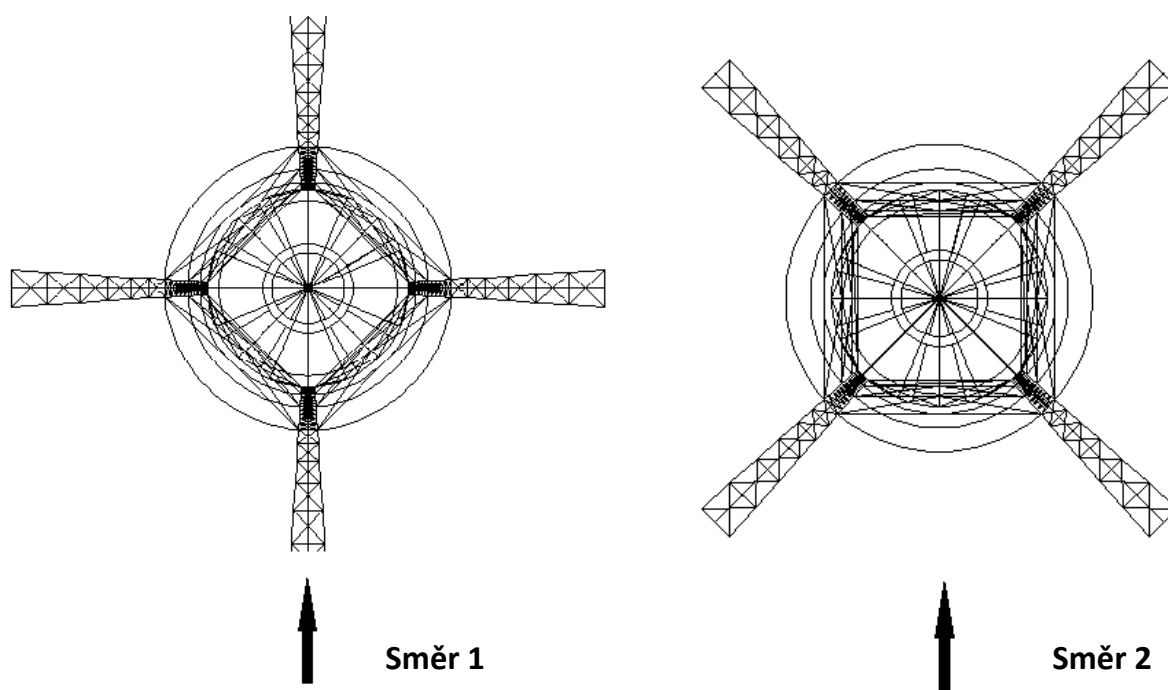
- Konstrukce je považována za netypickou vertikálně orientovanou pozemní stavbu.

Zatížení větrem je dle normy ČSN EN 1991-1-4 uvažováno jako náhodný proces. Rychlost větru a dynamický tlak jsou složeny ze střední a flukтуаční složky. Střední rychlost větru  $v_m$  se má stanovit ze základní rychlosti větru  $v_b$ , která závisí na větrných podmínkách a na změně větru s výškou, stanovené z drsnosti terénu a ortografie. Flukтуаční složka větru je vyjádřena intenzitou turbulence.

Vítr pro štíhlou konstrukci jako je rozhledna je dominantním, rozhodujícím zatížením.

Rozhledna nesplňuje žádnou podmínku oddílu 6.2 normy ČSN EN 1991-1-4 pro uvážení součinitele konstrukce  $c_{scd} = 1,0$ . Proto nelze zanedbat dynamická namáhání od větru a součinitel je přesně stanoven.

*Pozn.: Konstrukce rozhledny má čtyři osy symetrie proto bylo zatížení větrem modelováno ve dvou směrech.*



Obr.2.9.: Působení zatížení větrem

#### 4.4.1 Základní rychlost větru $v_{b,0}$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25,000 \text{ m s}^{-1}$$

$c_{dir}$  součinitel směru větru

$c_{season}$  součinitel ročního období

$v_{b,0}$  výchozí základní rychlost větru

*Pozn.: Doporučená hodnota pro  $c_{dir}$  a  $c_{season}$  je 1,0.*

#### 4.4.2 Součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$

$$c_r = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$z$  výška působíště větru

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,7}$$

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,7} = 0,19$$

#### Kategorie terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2,00 \text{ m}$$

#### 4.4.3 Součinitel ortografie $c_0(z)$

$$\phi = \frac{H}{L_u}$$

$$\phi = \frac{80}{300} = 0,267 \rightarrow L_e = L_u = 300 \text{ m (pozvolný terén)}$$

$$c_0(z) = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi \quad \text{pro } 0,05 < \phi < 0,3$$

$$\frac{z}{L_e} = \frac{3}{300} = 0,01$$

$$\frac{x}{L_u} = \frac{0}{300} = 0 \quad (\text{na vrcholu } x = 0)$$

$$-1,5 \leq \frac{x}{L_u} \leq 0 \quad \text{a} \quad 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

$$s = A \cdot e^{B \cdot \left(\frac{x}{L_u}\right)} \rightarrow s = A$$

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124$$

$\phi$  sklon návětrného svahu

$H$  výška návětrného svahu; 80 m

$L_e$  účinná délka návětrného svahu; 300 m

$L_u$  skutečná délka návětrného svahu; 300 m

$x$  vodorovná vzdálenost od místa staveniště od vrcholu hřebenu

$z$  svislá vzdálenost od úrovně terénu místa staveniště

Pozn.: Výpočet proveden dle Národní přílohy A normy ČSN EN 1991-1-4

#### 4.4.4 Střední rychlost větru $v_m(z)$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

#### 4.4.5 Turbulence větru $I_v(z)$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}}$$

#### 4.4.6 Maximální dynamický tlak $q_p(z)$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$$

$\rho$  měrná hustota vzduchu

Tab.2.1. Výpočet veličin po výšce rozhledny

$z$ [m]	$C_r(z)$ [-]	$A(z)$ [-]	$S(z)$ [-]	$C_0(z)$ [-]	$V_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$	$q_p(z)$
6	0,910	0,975	0,975	1,520	34,564	0,137	1464,974
8,5	0,976	0,960	0,960	1,512	36,881	0,129	1616,570
11	1,025	0,945	0,945	1,504	38,528	0,123	1728,420
13,5	1,064	0,930	0,930	1,496	39,782	0,119	1815,854
16	1,096	0,915	0,915	1,488	40,778	0,116	1886,663
18,5	1,124	0,901	0,901	1,481	41,590	0,114	1945,388
21	1,148	0,887	0,887	1,473	42,267	0,112	1994,921
23,5	1,169	0,873	0,873	1,466	42,839	0,111	2037,227
26	1,188	0,860	0,860	1,459	43,328	0,110	2073,705
28	1,202	0,849	0,849	1,453	43,669	0,109	2099,397

#### 4.4.7 Součinitel konstrukce $c_s c_d$ pro směr 1

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} = \frac{1 + 2 \cdot 0,109 \cdot \sqrt{0,67 + 0,458}}{1 + 7 \cdot 0,109} = 1,0546$$

$z_s$  referenční výška;  $z_s=28$  m

$k_p$  součinitel maximální hodnoty;  $k_p=3,716$

$B^2$  součinitel odezvy pozadí;  $B^2=0,670$

$R^2$  rezonanční část odezvy;  $R^2=0,455$

$I_v(z_s)$  turbulence větru v referenční výšce  $I_v(z_s)=0,109$

**Součinitel odezvy pozadí  $B^2$**

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z)}\right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{6,1+28,75}{90,381}\right)^{0,63}} = 0,670$$

$b$  šířka konstrukce;  $b=6,1$

$h$  výška konstrukce;  $h=28,75$  m

$L(z)$  měřítko délky turbulence v referenční výšce;  $L(z)=90,381$  m

**Měřítko délky turbulence  $L(z_s)$**

$$L(z) = L_t \cdot \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha = 300 \cdot \left(\frac{28}{200}\right)^{0,610} = 90,381 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,76 + 0,05 \cdot \ln(z_0) = 0,76 + 0,05 \cdot \ln(0,05) = 0,610$$

$z_b, L_t$  měřítka délky a výšky turbulence uváděná normou ČSN EN 1991-1-4

**Součinitel maximální hodnoty  $k_p$**

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} = \sqrt{2 \cdot \ln(0,903 \cdot 600)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0,903 \cdot 600)}} = 3,717$$

$v$  frekvence přechodů s kladnou odchylkou;  $v=0,903$

$T$  doba integrace;  $T=600$  s

**Frekvence přechodů s kladnou směrnici  $v$**

$$v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{0,458}{0,670 + 0,458}} = 0,903 \text{ Hz}$$

$n_{1,x}$  základní hodnota vlastní frekvence konstrukce;  $n_{1,x}=1,6$  Hz

### **Základní frekvence $n_{1,x}$**

$$n_{1,x} = \frac{46}{h} = \frac{46}{28,75} = 1,6 \text{ Hz}$$

$h$  výška konstrukce;  $h=28,75$  m

### **Rezonanční část odezvy $R^2$**

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,068} \cdot 0,061 \cdot 0,185 \cdot 0,561 = 0,455$$

$\delta$  celkový logaritmický dekrement útlumu;  $\delta=0,068$

$S_L$  výkonná spektrální hustota;  $S_L=0,061$

$R_h, R_b$  aerodynamická admitance;  $R_h=0,185, R_b=0,561$

### **Výkonná spektrální hustota $S_L$**

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 \cdot f_L(z_s, n_{1,x})}{[1 + 10,2 \cdot f_L(z_s, n_{1,x})]^{\frac{5}{3}}} = \frac{6,8 \cdot 3,311}{(1 + 10,2 \cdot 3,311)^{\frac{5}{3}}} = 0,061$$

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = n_{1,x} \cdot \frac{L(z_s)}{v_m(z_s)} = 1,6 \cdot \frac{90,381}{46,669} = 3,311$$

$L(z_s)$  měřítko délky turbulence v referenční výšce;  $L(z_s)=90,381$  m

$n_{1,x}$  základní frekvence;  $n_{1,x}=1,6$  Hz

$v_m(z_s)$  střední rychlost větru v referenční výšce;  $v_m(z_s)=46,669$  m/s

### **Aerodynamická admitance $R_h, R_b$**

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) = \frac{1}{4,845} - \frac{1}{2 \cdot 4,845^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 4,845}) = 0,185$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) = \frac{1}{1,026} - \frac{1}{2 \cdot 1,026^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 1,026}) = 0,561$$

$$\eta_h = 4,6 \cdot \frac{h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) = 4,6 \cdot \frac{28,75}{90,381} \cdot 3,311 = 4,845$$

$$\eta_b = 4,6 \cdot \frac{b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) = 4,6 \cdot \frac{6,1}{90,381} \cdot 3,311 = 1,026$$

$b$  šířka konstrukce stanovená jako průměr šířek všech podlaží;  $b=6,1$

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = 3,311$$

$$L(z_s) = 90,381 \text{ m}$$

### Logaritmický dekrement útlumu $\delta$

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,05 + 0,018 + 0 = \mathbf{0,068}$$

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{(2 \cdot n_{1,x} \cdot m_e)} = \frac{1,236 \cdot 1,25 \cdot 6,1 \cdot 46,669}{(2 \cdot 1,6 \cdot 7076)} = \mathbf{0,018}$$

$\delta_s=0,05$  pro ocelové příhradové věže s obyčejnými šrouby

$\delta_d=0$  bez zvláštních zařízení

### Ekvivalentní hmotnost $m_e$

$$m_e = \frac{\int_0^l m(z) \cdot \phi_1^2(z) \cdot d_z}{\int_0^l \phi_1^2(z) \cdot d_z} = \frac{\int_0^l 255,7 \cdot 0,936^2 \cdot d_z}{\int_0^l 0,936^2 \cdot d_z} = \mathbf{7076 \text{ kg/m}}$$

$$\phi_1 = \left(\frac{z}{l}\right)^\zeta = \left(\frac{26}{28,75}\right)^{2,5} = \mathbf{0,936}$$

$l$  výška konstrukce;  $l=28,75 \text{ m}$

$m(z)$  hmotnost na jednotku délky;  $m(z)=255,7 \text{ kg/m}$

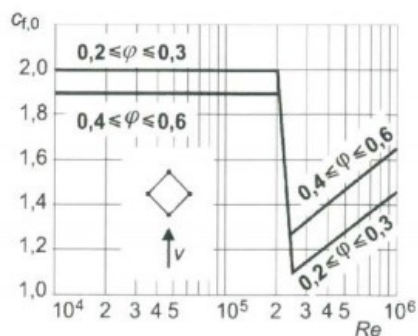
$\phi_1(z)$  základní tvar kmitání;

$\zeta=2,5$  pro ocelové příhradové věže

### Součinitel síly $c_f$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,28 \cdot 0,966 = \mathbf{1,260}$$

### Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců $c_{f,0}$



Obr.2.10. Součinitel síly  $c_{f,0}$  pro prostorovou příhradovou konstrukci

$$c_{f,0} = \mathbf{1,31}$$

$$Re = \frac{b \cdot v(z_s)}{v} = \frac{0,143 \cdot 57,957}{0,000015} = 552525,1 = \mathbf{0,55 \cdot 10^6}$$

$$v(ze) = \sqrt{2 \cdot q_p(z) / \rho} = \sqrt{2 \cdot 2073,705 / 1,25} = \mathbf{57,957 \text{ m/s}}$$



$Re$  Reynoldsovo číslo

$b$  průměr průřezů;  $b=0,143$  m

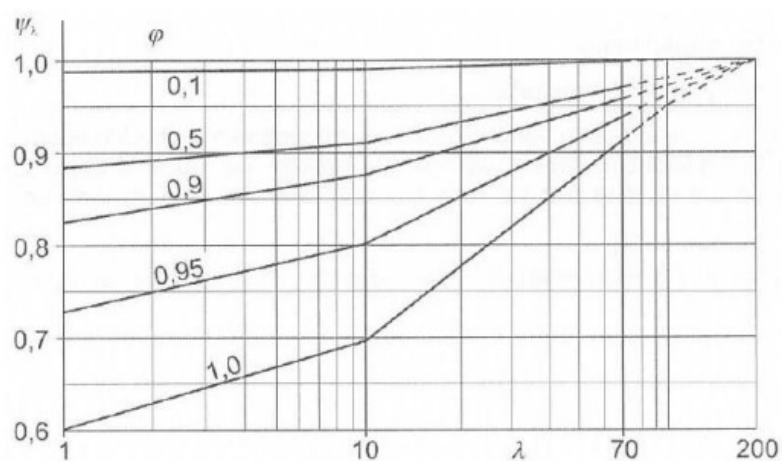
$v(z_e)$  maximální rychlost větru ve výšce  $z_e=26$  m

$\varphi$  součinitel plnosti;  $\varphi=0,202$

$q_p(z)=2073,705$  kg/m·s<sup>2</sup>

$\rho=1,25$  kg/m<sup>3</sup>

**Součinitel koncového efektu**



Obr.2.11.: graf pro stanovení součinitele koncového efektu  $\psi_\lambda$

$$\lambda_{l=50} = 1,4 \cdot \frac{l}{b} = 1,4 \cdot \frac{50}{6,1} = 11,502$$

$$\lambda_{l=15} = 2 \cdot \frac{l}{b} = 2 \cdot \frac{15}{6,1} = 4,929$$

$$\lambda_{l=28} = 2 \cdot \frac{l}{b} = 2 \cdot \frac{28,75}{6,1} = 7,37 \quad (\text{interpolováno})$$

$$\psi_\lambda = 0,962 \quad (\text{interpolováno})$$

### Součinitel plnosti konstrukce pro směr 1

Tab.2.2.Průměty ploch horní části konstrukce pro směr 1

Prvek	Rozměry		Plocha	Počet	Dílčí celková plocha
	B [m]	L [m]	[m <sup>2</sup> ]	-	[m <sup>2</sup> ]
Ztužidlo	0,07	3,26	0,2282	16	3,6512
Nárožník kolmo	0,06	14,5	0,87	2	1,74
Nárožník rovnoběžně	0,14	14,5	2,03	2	4,06
Obruč	0,1	2,1	0,21	10	2,1
Obruč podesty (U140)	0,14	2,1	0,294	4	1,176
Ztužidla nad podestou	0,07	6,5	0,455	2	0,91
Podpěření podesty	0,07	2,8	0,196	2	0,392
Styčnickové plechy	-	-	-	-	1,5
Plocha A od 13,5 m do 28 m výšky :					15,529

Tab.2.3.:Průměty ploch dolní části konstrukce pro směr 1

Prvek	Rozměry		Dílčí celková plocha
	B [m]	L [m]	[m <sup>2</sup> ]
Ztužidla	0,07	36,13	2,5291
Nárožník kolmo	0,52	12,5	6,5
Nárožník z boku	-	-	9,85
Obruče	0,1	15,5	1,55
Podpěření podesty	0,07	5,6	0,392
Styčnickové plechy	-	-	1
Plocha A do 13,5 m výšky :			21,8211

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{37,350}{184,725} = 0,202$$

$$A_c = h \cdot b = 14,5 \cdot 4,5 + \left( \frac{13,2 + 4,5}{2} \right) \cdot 13,5 = 184,725 \text{ m}^2$$

A je součet průmětů ploch jednotlivých prvků; viz. tab.2.2 a tab.2.3.

A<sub>c</sub> celková plocha obálky konstrukce

#### 4.4.8 Součinitel konstrukce $c_s c_d$ pro směr 2

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} = \frac{1 + 2 \cdot 0,109 \cdot \sqrt{0,670 + 0,456}}{1 + 7 \cdot 0,109} = 1,0547$$

$z_s$  referenční výška;  $z_s=28$  m

$k_p$  součinitel maximální hodnoty;  $k_p=3,717$

$B^2$  součinitel odezvy pozadí;  $B^2=0,670$

$R^2$  rezonanční část odezvy;  $R^2=0,456$

$I_v(z_s)$  turbulence větru v referenční výšce  $I_v(z_s)=0,109$

**Součinitel odezvy pozadí  $B^2$**

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z)}\right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{6,1+28,75}{90,381}\right)^{0,63}} = 0,670$$

$b$  šířka konstrukce;  $b=5$  m

$h$  výška konstrukce;  $h=28,75$  m

$L(z)$  měřítko délky turbulence v referenční výšce;  $L(z)=90,381$  m

**Měřítko délky turbulence  $L(z_s)$**

$$L(z_s) = L_t \cdot \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha = 300 \cdot \left(\frac{28}{200}\right)^{0,610} = 90,381 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,76 + 0,05 \cdot \ln(z_0) = 0,76 + 0,05 \cdot \ln(0,05) = 0,610$$

$z_t, L_t$  měřítka délky a výšky turbulence uváděná normou [1]

**Součinitel maximální hodnoty  $k_p$**

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} = \sqrt{2 \cdot \ln(0,903 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0,903 \cdot 600)}} = 3,717$$

$v$  frekvence přechodů s kladnou odchylkou;  $v=0,903$

$T$  doba integrace;  $T=600$  s

**Frekvence přechodů s kladnou směrnici  $v$**

$$v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{0,456}{0,673 + 0,456}} = 0,901 \text{ Hz}$$

$n_{1,x}$  základní hodnota vlastní frekvence konstrukce;  $n_{1,x}=1,6$  Hz

### **Základní frekvence $n_{1,x}$**

$$n_{1,x} = \frac{46}{h} = \frac{46}{28,75} = 1,6 \text{ Hz}$$

$h$  výška konstrukce;  $h=28,75 \text{ m}$

### **Rezonanční část odezvy $R^2$**

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,068} \cdot 0,061 \cdot 0,185 \cdot 0,561 = 0,456$$

$\delta$  celkový logaritmický dekrement útlumu;  $\delta=0,068$

$S_L$  výkonná spektrální hustota;  $S_L=0,061$

$R_h, R_b$  aerodynamická admitance;  $R_h=0,185, R_b=0,561$

### **Výkonná spektrální hustota $S_L$**

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 \cdot f_L(z_s, n_{1,x})}{[1 + 10,2 \cdot f_L(z_s, n_{1,x})]^{\frac{5}{3}}} = \frac{6,8 \cdot 3,311}{(1 + 10,2 \cdot 3,311)^{\frac{5}{3}}} = 0,061$$

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = n_{1,x} \cdot \frac{L(z_s)}{v_m(z_s)} = 1,6 \cdot \frac{90,381}{46,669} = 3,311$$

$L(z_s)$  měřítko délky turbulence v referenční výšce;  $L(z_s)=90,381 \text{ m}$

$n_{1,x}$  základní frekvence;  $n_{1,x}=1,6 \text{ Hz}$

$v_m(z_s)$  střední rychlost větru v referenční výšce;  $v_m(z_s)=46,669 \text{ m/s}$

### **Aerodynamická admitance $R_h, R_b$**

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) = \frac{1}{4,845} - \frac{1}{2 \cdot 4,845^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 4,845}) = 0,185$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) = \frac{1}{1,026} - \frac{1}{2 \cdot 1,026^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 1,026}) = 0,561$$

$$\eta_h = 4,6 \cdot \frac{h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) = 4,6 \cdot \frac{28,75}{90,381} \cdot 3,311 = 4,845$$

$$\eta_b = 4,6 \cdot \frac{b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) = 4,6 \cdot \frac{6,1}{90,381} \cdot 3,311 = 1,026$$

$b$  šířka konstrukce stanovená jako průměr šířek všech podlaží;  $b=5$

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = 3,311$$

$$L(z_s) = 90,381 \text{ m}$$

### Logaritmický dekrement útlumu $\delta$

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,05 + 0,018 + 0 = \mathbf{0,068}$$

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{(2 \cdot n_{1,x} \cdot m_e)} = \frac{1,245 \cdot 1,25 \cdot 6,1 \cdot 43,669}{(2 \cdot 1,6 \cdot 7076)} = \mathbf{0,018}$$

$\delta_s=0,05$  pro ocelové příhradové věže s obyčejnými šrouby

$\delta_d=0$  bez zvláštních zařízení

### Ekvivalentní hmotnost $m_e$

$$m_e = \frac{\int_0^l m(z) \cdot \phi_1^2(z) \cdot d_z}{\int_0^l \phi_1^2(z) \cdot d_z} = \frac{\int_0^l 255,7 \cdot 0,936^2 \cdot d_z}{\int_0^l 0,936^2 \cdot d_z} = \mathbf{7076 \text{ kg/m}}$$

$$\phi_1 = \left(\frac{z}{l}\right)^\zeta = \left(\frac{26}{28,75}\right)^{2,5} = \mathbf{0,936}$$

$l$  výška konstrukce;  $l=28,75 \text{ m}$

$m(z)$  hmotnost na jednotku délky;  $m(z)=255,7 \text{ kg/m}$

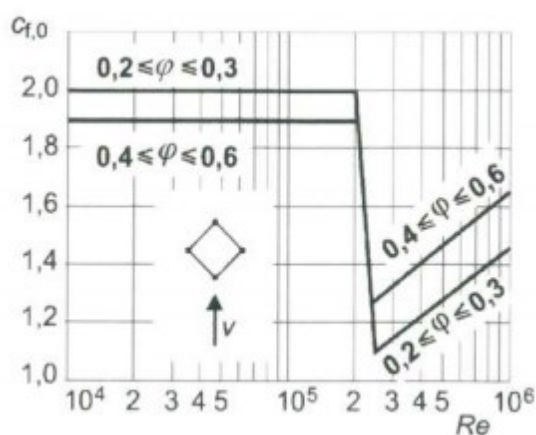
$\phi_1(z)$  základní tvar kmitání;

$\zeta=2,5$  pro ocelové příhradové věže

### Součinitel síly $c_f$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,31 \cdot 0,950 = \mathbf{1,245}$$

### Součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců $c_{f,0}$



Obr. Součinitel síly  $c_{f,0}$  pro prostorovou příhradovou konstrukci

$$c_{f,0} = \mathbf{1,31}$$

$$R_e = \frac{b \cdot v(z_s)}{v} = \frac{0,143 \cdot 57,957}{0,000015} = 552525,1 = \mathbf{0,55 \cdot 10^6}$$

$$v(z_e) = \sqrt{2 \cdot q_p(z) / \rho} = \sqrt{2 \cdot 2073,705 / 1,25} = 57,957 \text{ m/s}$$

$Re$  Reynoldsovo číslo

$b$  průměr průřezů;  $b=0,143 \text{ m}$

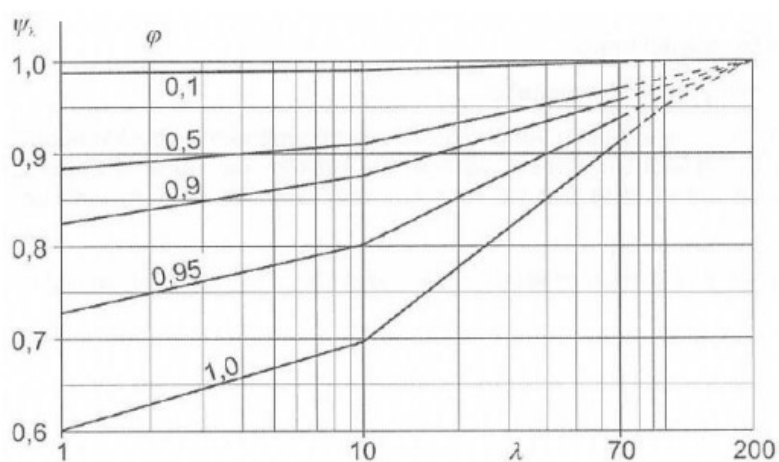
$v(z_e)$  maximální rychlost větru ve výšce  $z_e=26 \text{ m}$

$\varphi$  součinitel plnosti;  $\varphi=0,269$

$$q_p(z) = 2073,705 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

**Součinitel koncového efektu**



Obr.: graf pro stanovení součinitele koncového efektu  $\psi_\lambda$

$$\lambda_{l=50} = 1,4 \cdot \frac{l}{b} = 1,4 \cdot \frac{50}{6,1} = 11,502$$

$$\lambda_{l=15} = 2 \cdot \frac{l}{b} = 2 \cdot \frac{15}{6,1} = 4,929$$

$$\lambda_{l=28} = 2 \cdot \frac{l}{b} = 2 \cdot \frac{28,75}{6,1} = 7,37 \quad (\text{interpolováno})$$

$$\psi_\lambda = 0,950 \quad (\text{interpolováno})$$

## Součinitel plnosti konstrukce pro směr 2

Tab.2.4.Průměty ploch horní části konstrukce pro směr 2

Prvek	Rozměry		plocha	počet	dílčí celková plocha
	B[m]	L[m]	[m <sup>2</sup> ]	-	[m <sup>2</sup> ]
Ztužidlo	0,07	3,9	0,273	8	2,184
Nárožník	0,29	14,5	4,205	2	8,41
Obruč	0,1	2,25	0,225	10	2,25
Obruč podesty (U140)	0,14	2,25	0,315	4	1,26
Ztužidla nad podestou	0,07	12,52	0,8764	1	0,8764
Podpření podesty	0,07	2,65	0,1855	2	0,371
Vřetenový sloup schod.	0,35	14,5	5,075	1	5,075
Rozpěrky nárožníků	0,14	0,12	0,0168	10	0,168
Styčnickové plechy	-	-	-	-	1,5
Plocha A od 13,5 m do 28 m výšky :					22,0944

Tab.2.5.:Průměty ploch dolní části konstrukce pro směr 2

Prvek	Rozměry		dílčí celková plocha
	B[m]	L[m]	[m <sup>2</sup> ]
Ztužidla	0,07	20,6	1,442
Vřetenový sloup schod.	0,35	13,5	4,725
Nárožník	-	-	12,805
Obruče	0,1	14,7	1,47
Podpření podesty	0,07	5,4	0,378
Styčnickové plechy	-	-	1
Plocha A do 13,5 m výšky :			21,820

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{43,914}{163,125} = 0,269$$

$$A_c = h \cdot b = 14,5 \cdot 4,5 + \left( \frac{10 + 4,5}{2} \right) \cdot 13,5 = 163,125 \text{ m}^2$$

A je součet průmětů ploch jednotlivých prvků; viz. tab.2.2 a tab.2.3.

A<sub>c</sub> celková plocha obálky konstrukce

#### 4.4.9 Síly od větru

Tab.2.6.: Výpočet celkových sil od větru na jednotlivé výšky konstrukce

Směr 1		Směr 2	
$c_s c_d$	<b>1,0546</b>	$c_s c_d$	<b>1,0547</b>
$c_f$	<b>1,260</b>	$c_f$	<b>1,245</b>

z	$A_{ref}$	$q_p$	$F_w$	z	$A_{ref}$	$q_p$	$F_w$
[m]	[m <sup>2</sup> ]	[kg/m*s <sup>2</sup> ]	[N]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[kg/m*s <sup>2</sup> ]	[N]
6	8,071	1464,974	<b>15713,547</b>	6	9,206	1464,974	<b>17702,312</b>
8,5	11,429	1616,570	<b>24553,868</b>	8,5	7,873	1616,570	<b>16705,673</b>
11	10,542	1728,420	<b>24214,810</b>	11	7,353	1728,420	<b>16681,840</b>
13,5	15,658	1815,854	<b>37787,251</b>	13,5	12,513	1815,854	<b>29824,381</b>
16	11,586	1886,663	<b>29049,923</b>	16	11,989	1886,663	<b>29689,758</b>
18,5	11,009	1945,388	<b>28462,896</b>	18,5	8,207	1945,388	<b>20956,556</b>
21	11,009	1994,921	<b>29187,609</b>	21	8,207	1994,921	<b>21490,143</b>
23,5	11,009	2037,227	<b>29806,584</b>	23,5	8,207	2037,227	<b>21945,881</b>
26	15,197	2073,705	<b>41880,373</b>	26	12,167	2073,705	<b>33117,661</b>
28	4,140	2099,397	<b>11550,797</b>	28	5,548	2099,397	<b>15288,337</b>

Tab.2.7.: Rozložení sil na jednotlivé prvky konstrukce pro směr 1

z	$q_p$	prvek	$A_{ref}$	L	w
[m]	[kg/m*s <sup>2</sup> ]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[N/m]
6	1464,974	Nárožník příčně	3,774	6,96	<b>1055,698</b>
		Nárožník podélně	2,289	6,96	<b>640,300</b>
		Vřetenový sloup	0,875	6	<b>283,925</b>
		Obruče	0,299	4,61	<b>126,275</b>
8,5	1616,570	Nárožník příčně	0,965	2,55	<b>813,015</b>
		Nárožník podélně	0,893	2,55	<b>752,355</b>
		Obruče	0,251	3,87	<b>139,340</b>
		Ztužidlo	0,214	3,3	<b>139,319</b>
11	1728,420	Nárožník příčně	0,843	2,52	<b>768,411</b>
		Nárožník podélně	0,703	2,52	<b>640,798</b>
		Obruče	0,225	3,47	<b>148,943</b>
		Ztužidlo	0,201	3,07	<b>150,392</b>
13,5	1815,854	Nárožník příčně	0,775	2,51	<b>745,119</b>
		Nárožník podélně	0,497	2,51	<b>477,838</b>
		Obruče podesty	0,294	3,23	<b>219,656</b>
		Ztužidlo 1	0,236	3,97	<b>143,456</b>
		Ztužidlo 2	0,228	3,97	<b>138,593</b>
		Podpěra podesty	0,201	2,87	<b>169,010</b>



<b>z</b>	<b>q<sub>p</sub></b>	<b>prvek</b>	<b>A<sub>ref</sub></b>	<b>L</b>	<b>w</b>
[m]	[kg/m*s <sup>2</sup> ]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[N/m]
16	1886,663	Nárožník příčně	0,15	2,5	<b>150,440</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	<b>351,026</b>
		Obruče	0,21	3,23	<b>163,015</b>
		Ztužidlo 1	0,1064	1,94	<b>137,515</b>
		Ztužidlo 2	0,1281	1,94	<b>165,561</b>
		Ztužidlo 3	0,1393	1,94	<b>180,037</b>
		Ztužidlo 4	0,091	1,94	<b>117,612</b>
18,5	1945,388	Nárožník příčně	0,15	2,5	<b>155,122</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	<b>361,952</b>
		Obruče	0,21	3,23	<b>168,089</b>
		Ztužidlo	0,2282	3,9	<b>151,278</b>
21	1994,921	Nárožník příčně	0,15	2,5	<b>159,072</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	<b>371,168</b>
		Obruče	0,21	3,23	<b>172,369</b>
		Ztužidlo	0,2282	3,9	<b>155,129</b>
23,5	2037,227	Nárožník příčně	0,15	2,5	<b>162,446</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	<b>379,040</b>
		Obruče	0,21	3,23	<b>176,025</b>
		Ztužidlo	0,2282	3,9	<b>158,419</b>
26	2073,705	Nárožník příčně	0,15	2,5	<b>165,354</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	<b>385,827</b>
		Obruče	0,294	3,23	<b>250,847</b>
		Ztužidlo	0,2282	3,9	<b>161,256</b>
28	2099,397	Nárožník příčně	0,15	2,5	<b>167,4029</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	<b>390,6067</b>
		Obruče	0,21	3,23	<b>181,3963</b>

Tab.2.8.:Rozložení sil na jednotlivé prvky konstrukce pro směr 2

<b>z</b>	<b>q<sub>p</sub></b>	<b>prvek</b>	<b>A<sub>ref</sub></b>	<b>L</b>	<b>w</b>
[m]	[kg/m*s <sup>2</sup> ]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[N/m]
6	1464,974	Nárožník	7,455	6,96	<b>2059,668</b>
		Vřetenový sloup	2,100	2,5	<b>1615,244</b>
		Obruče 1	0,423	4,6	<b>176,824</b>
		Obruče 2	0,079	4,6	<b>32,940</b>
8,5	1616,570	Nárožník	1,880	2,55	<b>1564,377</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>742,663</b>
		Obruče 1	0,355	3,87	<b>194,644</b>
		Obruče 2	0,066	3,87	<b>36,242</b>
		Ztužidlo	0,229	3,3	<b>147,182</b>

11	1728,420	Nárožník	1,785	2,51	<b>1613,403</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>794,047</b>
		Obruče 1	0,318	3,47	<b>207,910</b>
		Obruče 2	0,059	3,47	<b>38,771</b>
		Ztužidlo	0,215	3,07	<b>158,603</b>
13,5	1815,854	Nárožník	1,680	2,5	<b>1601,693</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>834,215</b>
		Obruče vyhlídky 1	0,416	3,23	<b>306,826</b>
		Obruče vyhlídky 2	0,077	3,23	<b>57,026</b>
		Ztužidlo	0,277	3,97	<b>166,423</b>
		Podpěra podesty	1,883	2,87	<b>1563,790</b>
16	1886,663	Nárožník	0,725	2,5	<b>718,160</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>866,745</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	<b>227,708</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	<b>42,321</b>
		Ztužidlo 1	0,132	2,1	<b>155,189</b>
		Ztužidlo 2	0,088	2,1	<b>103,184</b>
18,5	1945,388	Nárožník	0,725	2,5	<b>740,514</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>893,724</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	<b>234,795</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	<b>43,639</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	<b>178,745</b>
21	1994,921	Nárožník	0,725	2,5	<b>759,369</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>916,480</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	<b>240,774</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	<b>44,750</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	<b>183,296</b>
23,5	2037,227	Nárožník	0,725	2,5	<b>775,473</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>935,915</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	<b>245,880</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	<b>45,699</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	<b>187,183</b>
26	2073,705	Nárožník	0,725	2,5	<b>789,358</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	<b>952,674</b>
		Obruče vyhlídky 1	0,416	3,23	<b>350,395</b>
		Obruče vyhlídky 2	0,077	3,23	<b>65,124</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	<b>190,535</b>
		Podpěra podesty	1,855	2,87	<b>1759,293</b>
28	2099,397	Nárožník	0,580	2	<b>799,138</b>
		Vřetenový sloup	0,700	2,5	<b>771,581</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	<b>253,383</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	<b>47,093</b>

Pozn.: Indexy obručí a ztužidel označují stejné konstrukční prvky s jinou průmětnou plochou.

## 4.5 Zatížení námrazou

Zatížení námrazou bylo stanoveno dle normy ČSN ISO 12494. Tato norma rozlišuje několik typů atmosférických jevů, které způsobují námrazu, ledovku nebo jinovatku.

Pro příhradovou věž jako je rozhledna se obvykle stanovuje pouze zatížení námrazou v kombinaci se zatížením větrem ošetřeným redukčními součiniteli.

Jestliže je vítr dostatečně silný, může způsobovat opadávání námrazy z konstrukce (zohledněno doporučenými kombinacemi). Z tohoto důvodu je předpoklad současného působení plné námrazy při velmi silném větru téměř nemožný.

Námraza má na konstrukci statické účinky, ale také ovlivňuje její dynamické chování, neboť se vzrůstajícím zatížením vlastní frekvence konstrukce výrazně klesá.

Konstrukce spadá podle mapy tříd námraz do velmi nízké třídy ICR2, proto není se zvýšenými dynamickými účinky počítáno.

Výpočet zatížení námrazou spočívá v stanovení zatížení větrem na konstrukci dle [4], následným určením poměru součinitele odporu  $C_i$  pro konstrukci s námrazou a součinitelem  $C_o$  pro konstrukci bez námrazy. Tento poměr je normou zohledněn v doporučených kombinacích pro stanovení zatížení námrazou.

### Doporučené kombinace zatížení

- $k \cdot w + \phi_{ice} \cdot m$
- $k \cdot w \cdot \phi_w + m$

$k$  redukční součinitel tlaku větru;  $k = 0,5$

$\phi_{ice}$  kombinační součinitel pro námrazu;  $\phi_{ice} = 0,3$

$\phi_w$  kombinační součinitel pro vítr;  $\phi_w = 0,3$

$w$  zatížení větrem

$m$  zatížení námrazou (dle mapy třídy námraz); ICR2  $\rightarrow m = 1,6 \text{ kg/m}$

Tab.2.9.: Redukce zatížení větrem pro směr 1

z	$q_p$	prvek	$A_{ref}$	L	w	$k \cdot w$	$k \cdot w \cdot \phi$
[m]	[kg/m <sup>2</sup> s <sup>2</sup> ]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[N/m]	[N/m]	[N/m]
6	1464,974	Nárožník příčně	3,774	6,96	1055,698	<b>527,849</b>	<b>158,355</b>
		Nárožník podélně	2,289	6,96	640,300	<b>320,150</b>	<b>96,045</b>
		Vřetenový sloup	0,875	6	283,925	<b>141,963</b>	<b>42,589</b>
		Obruče	0,299	4,61	126,275	<b>63,137</b>	<b>18,941</b>

<b>z</b>	<b>q<sub>p</sub></b>	<b>prvek</b>	<b>A<sub>ref</sub></b>	<b>L</b>	<b>w</b>	<b>k*w</b>	<b>k*w*φ</b>
[m]	[kg/m*s <sup>2</sup> ] ]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[N/m]	[N/m]	[N/m]
8,5	1616,570	Nárožník příčně	0,965	2,55	813,015	<b>406,508</b>	<b>121,952</b>
		Nárožník podélně	0,893	2,55	752,355	<b>376,178</b>	<b>112,853</b>
		Obruče	0,251	3,87	139,340	<b>69,670</b>	<b>20,901</b>
		Ztužidlo	0,214	3,3	139,319	<b>69,660</b>	<b>20,898</b>
11	1728,420	Nárožník příčně	0,843	2,52	768,411	<b>384,205</b>	<b>115,262</b>
		Nárožník podélně	0,703	2,52	640,798	<b>320,399</b>	<b>96,120</b>
		Obruče	0,225	3,47	148,943	<b>74,471</b>	<b>22,341</b>
		Ztužidlo	0,201	3,07	150,392	<b>75,196</b>	<b>22,559</b>
13,5	1815,854	Nárožník příčně	0,775	2,51	745,119	<b>372,560</b>	<b>111,768</b>
		Nárožník podélně	0,497	2,51	477,838	<b>238,919</b>	<b>71,676</b>
		Obruče podesty	0,294	3,23	219,656	<b>109,828</b>	<b>32,948</b>
		Ztužidlo 1	0,236	3,97	143,456	<b>71,728</b>	<b>21,518</b>
		Ztužidlo 2	0,228	3,97	138,593	<b>69,297</b>	<b>20,789</b>
		Podpěra podesty	0,201	2,87	169,010	<b>84,505</b>	<b>25,351</b>
16	1886,663	Nárožník příčně	0,15	2,5	150,440	<b>75,220</b>	<b>22,566</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	351,026	<b>175,513</b>	<b>52,654</b>
		Obruče	0,21	3,23	163,015	<b>81,508</b>	<b>24,452</b>
		Ztužidlo 1	0,1064	1,94	137,515	<b>68,758</b>	<b>20,627</b>
		Ztužidlo 2	0,1281	1,94	165,561	<b>82,781</b>	<b>24,834</b>
		Ztužidlo 3	0,1393	1,94	180,037	<b>90,018</b>	<b>27,005</b>
		Ztužidlo 4	0,091	1,94	117,612	<b>58,806</b>	<b>17,642</b>
18,5	1945,388	Nárožník příčně	0,15	2,5	155,122	<b>77,561</b>	<b>23,268</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	361,952	<b>180,976</b>	<b>54,293</b>
		Obruče	0,21	3,23	168,089	<b>84,045</b>	<b>25,213</b>
		Ztužidlo	0,2282	3,9	151,278	<b>75,639</b>	<b>22,692</b>
21	1994,921	Nárožník příčně	0,15	2,5	159,072	<b>79,536</b>	<b>23,861</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	371,168	<b>185,584</b>	<b>55,675</b>
		Obruče	0,21	3,23	172,369	<b>86,185</b>	<b>25,855</b>
		Ztužidlo	0,2282	3,9	155,129	<b>77,565</b>	<b>23,269</b>
23,5	2037,227	Nárožník příčně	0,15	2,5	162,446	<b>81,223</b>	<b>24,367</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	379,040	<b>189,520</b>	<b>56,856</b>

		Obruče	0,21	3,23	176,025	<b>88,012</b>	<b>26,404</b>
		Ztužidlo	0,228 2	3,9	158,419	<b>79,210</b>	<b>23,763</b>
26	2073,705	Nárožník příčně	0,15	2,5	165,354	<b>82,677</b>	<b>24,803</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	385,827	<b>192,913</b>	<b>57,874</b>
		Obruče	0,294	3,23	250,847	<b>125,424</b>	<b>37,627</b>
		Ztužidlo	0,228 2	3,9	161,256	<b>80,628</b>	<b>24,188</b>
28	2099,397	Nárožník příčně	0,15	2,5	167,402 9	<b>83,701</b>	<b>25,110</b>
		Nárožník podélně	0,35	2,5	390,606 7	<b>195,303</b>	<b>58,591</b>
		Obruče	0,21	3,23	181,396 3	<b>90,698</b>	<b>27,209</b>

Tab.2.10.: Redukce zatížení větrem pro směr 2

<b>z</b>	<b>q<sub>p</sub></b>	<b>prvek</b>	<b>A<sub>ref</sub></b>	<b>L</b>	<b>w</b>	<b>k*w</b>	<b>k*w*φ</b>
[m]	[kg/m*s <sup>2</sup> ]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[N/m]	[N/m]	[N/m]
6	1464,974	Nárožník	7,455	6,96	2059,668	<b>1029,834</b>	<b>308,950</b>
		Vřetenový sloup	2,100	2,5	1615,244	<b>807,622</b>	<b>242,287</b>
		Obruče 1	0,423	4,6	176,824	<b>88,412</b>	<b>26,524</b>
		Obruče 2	0,079	4,6	32,940	<b>16,470</b>	<b>4,941</b>
8,5	1616,570	Nárožník	1,880	2,55	1564,377	<b>782,188</b>	<b>234,657</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	742,663	<b>371,331</b>	<b>111,399</b>
		Obruče 1	0,355	3,87	194,644	<b>97,322</b>	<b>29,197</b>
		Obruče 2	0,066	3,87	36,242	<b>18,121</b>	<b>5,436</b>
		Ztužidlo	0,229	3,3	147,182	<b>73,591</b>	<b>22,077</b>
11	1728,420	Nárožník	1,785	2,51	1613,403	<b>806,701</b>	<b>242,010</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	794,047	<b>397,024</b>	<b>119,107</b>
		Obruče 1	0,318	3,47	207,910	<b>103,955</b>	<b>31,187</b>
		Obruče 2	0,059	3,47	38,771	<b>19,385</b>	<b>5,816</b>
		Ztužidlo	0,215	3,07	158,603	<b>79,301</b>	<b>23,790</b>
13,5	1815,854	Nárožník	1,680	2,5	1601,693	<b>800,846</b>	<b>240,254</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	834,215	<b>417,108</b>	<b>125,132</b>
		Obruče vyhlídky 1	0,416	3,23	306,826	<b>153,413</b>	<b>46,024</b>
		Obruče vyhlídky 2	0,077	3,23	57,026	<b>28,513</b>	<b>8,554</b>
		Ztužidlo	0,277	3,97	166,423	<b>83,211</b>	<b>24,963</b>
		Podpěra podesty	0,188	2,87	156,379	<b>78,189</b>	<b>23,457</b>
		Nárožník	0,725	2,5	718,160	<b>359,080</b>	<b>107,724</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	866,745	<b>433,373</b>	<b>130,012</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	227,708	<b>113,854</b>	<b>34,156</b>

16	1886,663	Obruče 2	0,055	3,23	42,321	<b>21,161</b>	<b>6,348</b>
		Ztužidlo 1	0,132	2,1	155,189	<b>77,594</b>	<b>23,278</b>
		Ztužidlo 2	0,088	2,1	103,184	<b>51,592</b>	<b>15,478</b>
18,5	1945,388	Nárožník	0,725	2,5	740,514	<b>370,257</b>	<b>111,077</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	893,724	<b>446,862</b>	<b>134,059</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	234,795	<b>117,398</b>	<b>35,219</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	43,639	<b>21,819</b>	<b>6,546</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	178,745	<b>89,372</b>	<b>26,812</b>
21	1994,921	Nárožník	0,725	2,5	759,369	<b>379,684</b>	<b>113,905</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	916,480	<b>458,240</b>	<b>137,472</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	240,774	<b>120,387</b>	<b>36,116</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	44,750	<b>22,375</b>	<b>6,712</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	183,296	<b>91,648</b>	<b>27,494</b>
23,5	2037,227	Nárožník	0,725	2,5	775,473	<b>387,736</b>	<b>116,321</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	935,915	<b>467,958</b>	<b>140,387</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	245,880	<b>122,940</b>	<b>36,882</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	45,699	<b>22,849</b>	<b>6,855</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	187,183	<b>93,592</b>	<b>28,077</b>
26	2073,705	Nárožník	0,725	2,5	789,358	<b>394,679</b>	<b>118,404</b>
		Vřetenový sloup	0,875	2,5	952,674	<b>476,337</b>	<b>142,901</b>
		Obruče vyhlídky 1	0,416	3,23	350,395	<b>175,198</b>	<b>52,559</b>
		Obruče vyhlídky 2	0,077	3,23	65,124	<b>32,562</b>	<b>9,769</b>
		Ztužidlo	0,272	3,88	190,535	<b>95,267</b>	<b>28,580</b>
		Podpěra podesty	0,186	2,87	175,929	<b>87,965</b>	<b>26,389</b>
28	2099,397	Nárožník	0,580	2	799,138	<b>399,569</b>	<b>119,871</b>
		Vřetenový sloup	0,700	1	1928,953	<b>964,477</b>	<b>289,343</b>
		Obruče 1	0,297	3,23	253,383	<b>126,692</b>	<b>38,007</b>
		Obruče 2	0,055	3,23	47,093	<b>23,547</b>	<b>7,064</b>

## 5 Zatěžovací stavy a kombinace

Tab.3.1.: Skupiny zatížení a zatěžovací stavy

Skupiny zatížení	
LG1	Stálé, Standart
LG2	Proměnné, výběrová , kat. C3
LG3	Proměnné, výběrová, kat. C5
LG4	Proměnné, výběrová, vítr
LG5	Proměnné, výběrová, sníh

Zatěžovací stavy		
ZS1	Vlastní tíha	LG1
ZS2	Ostatní stálé	LG1
ZS3	Užitné vyhlídky celé	LG3
ZS4	Užitné vyhlídky poloviční	LG3
ZS5	Užitné schodiště celé	LG2
ZS6	Užitné schodiště poloviční	LG2
ZS7	Vítr směr 1	LG4
ZS8	Vítr směr 2	LG4
ZS9	Námraza+vítr 1 - 1.kom.	LG4
ZS10	Námraza+vítr 1 - 2.kom.	LG4
ZS11	Námraza+vítr 2 - 1.kom.	LG4
ZS12	Námraza+vítr 2 - 2.kom.	LG4
ZS13	Sníh zadní	LG5
ZS14	Sníh přední	LG5

## Kombinace

Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu SCIA Engineer v souladu s normou [1].

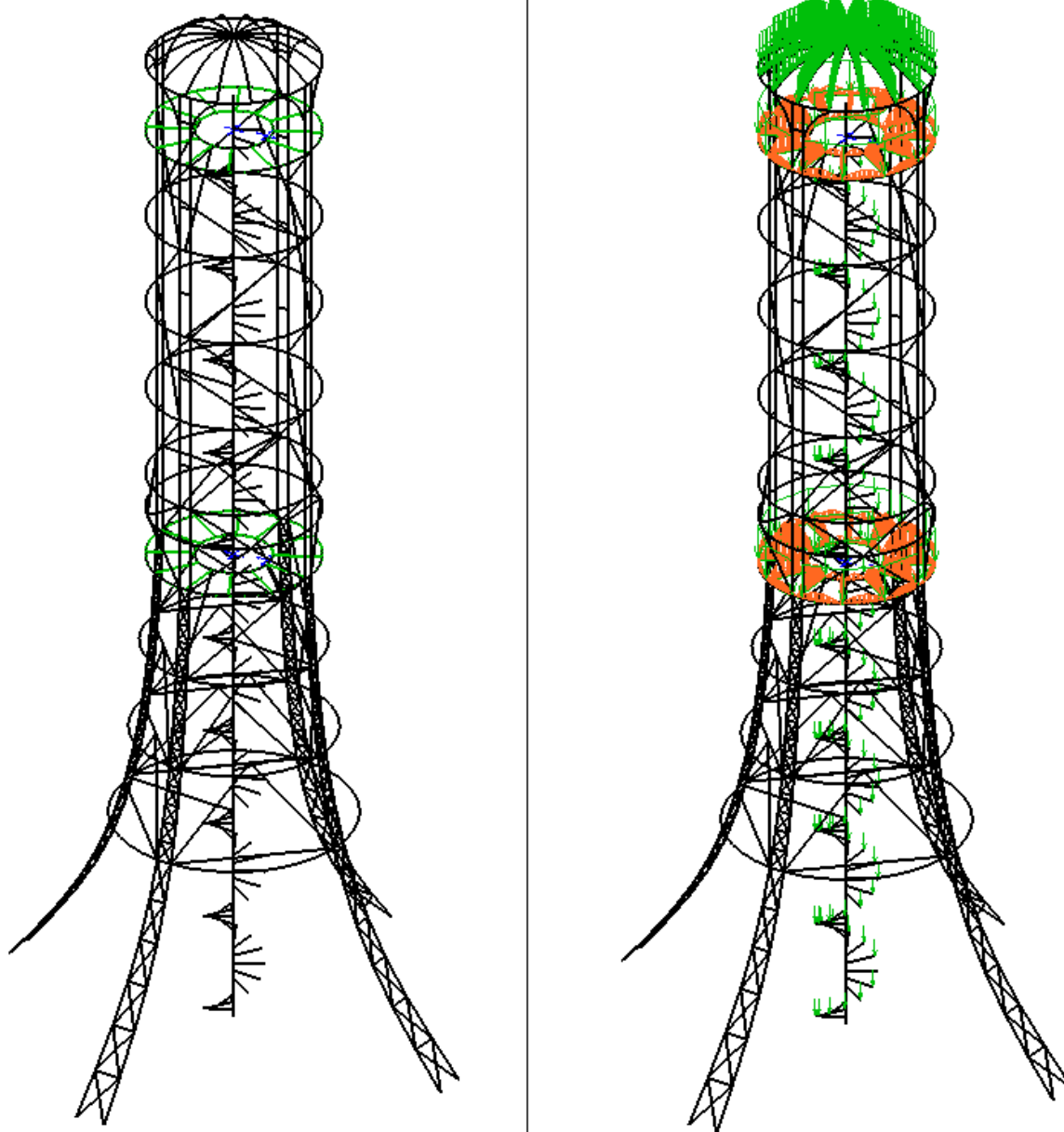
### *Použité rovnice*

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

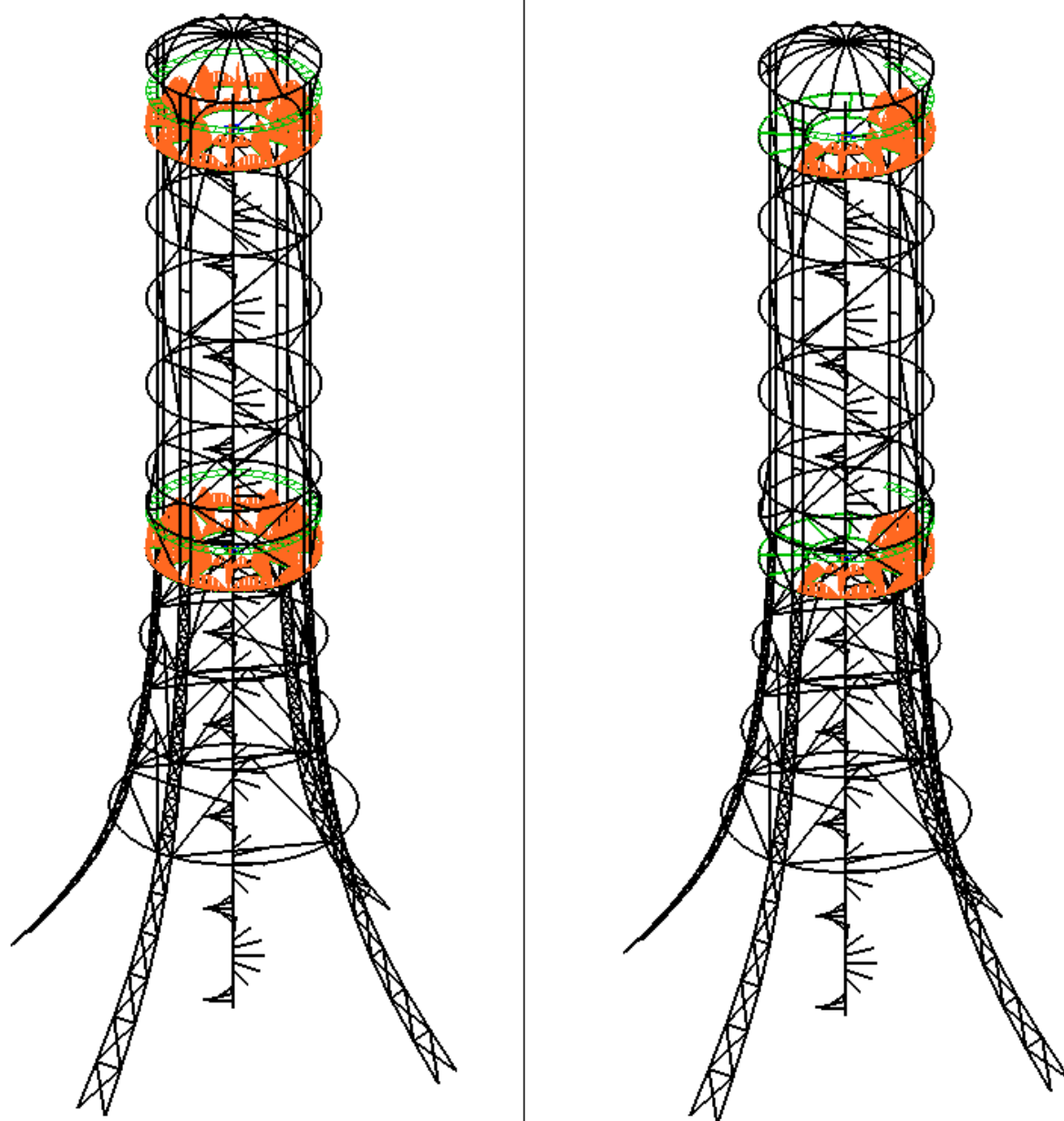
$$\sum_{j > 1} \xi_j \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{Q,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Bylo vygenerováno 1599 kombinací zatěžovacích stavů.

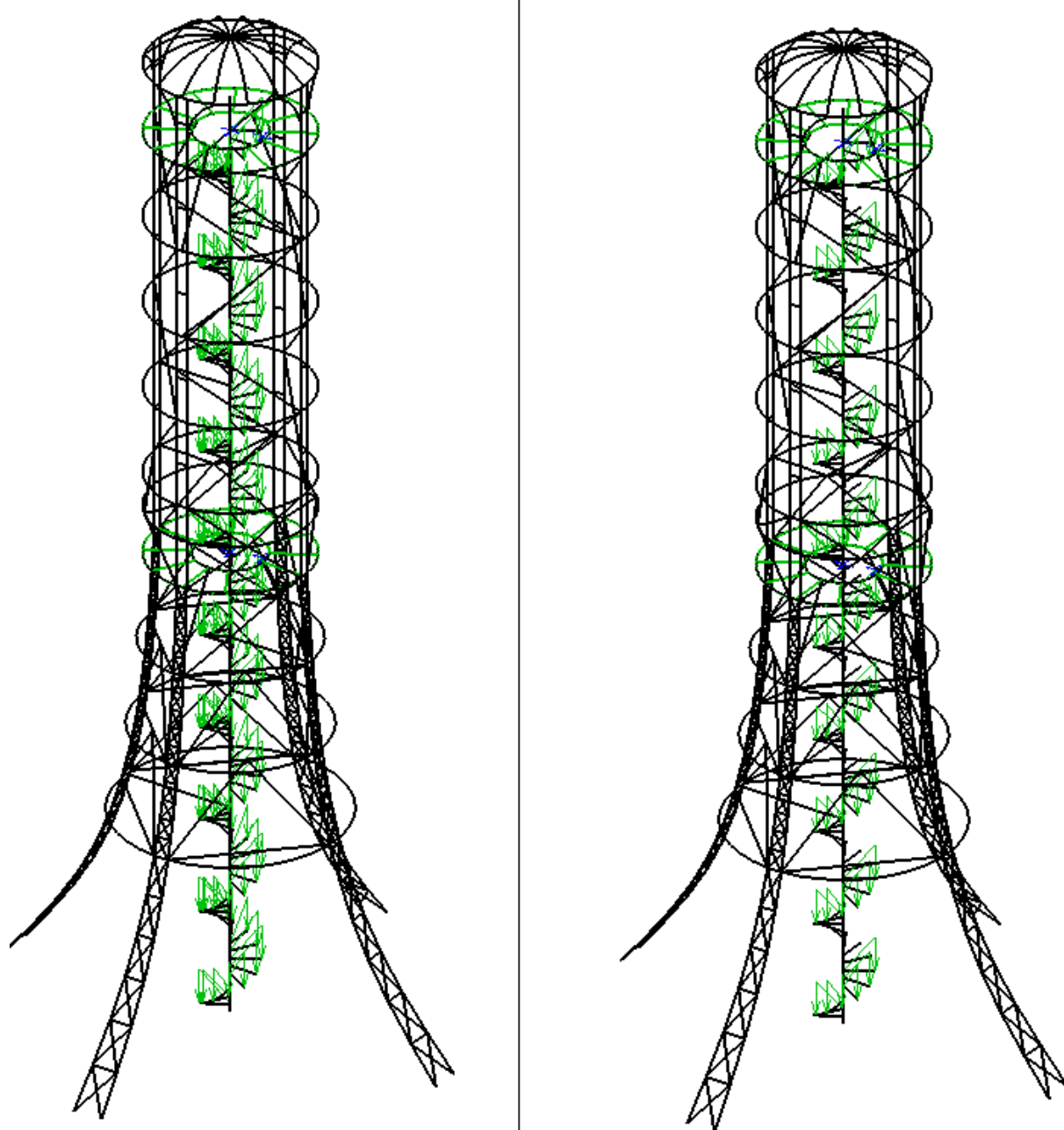




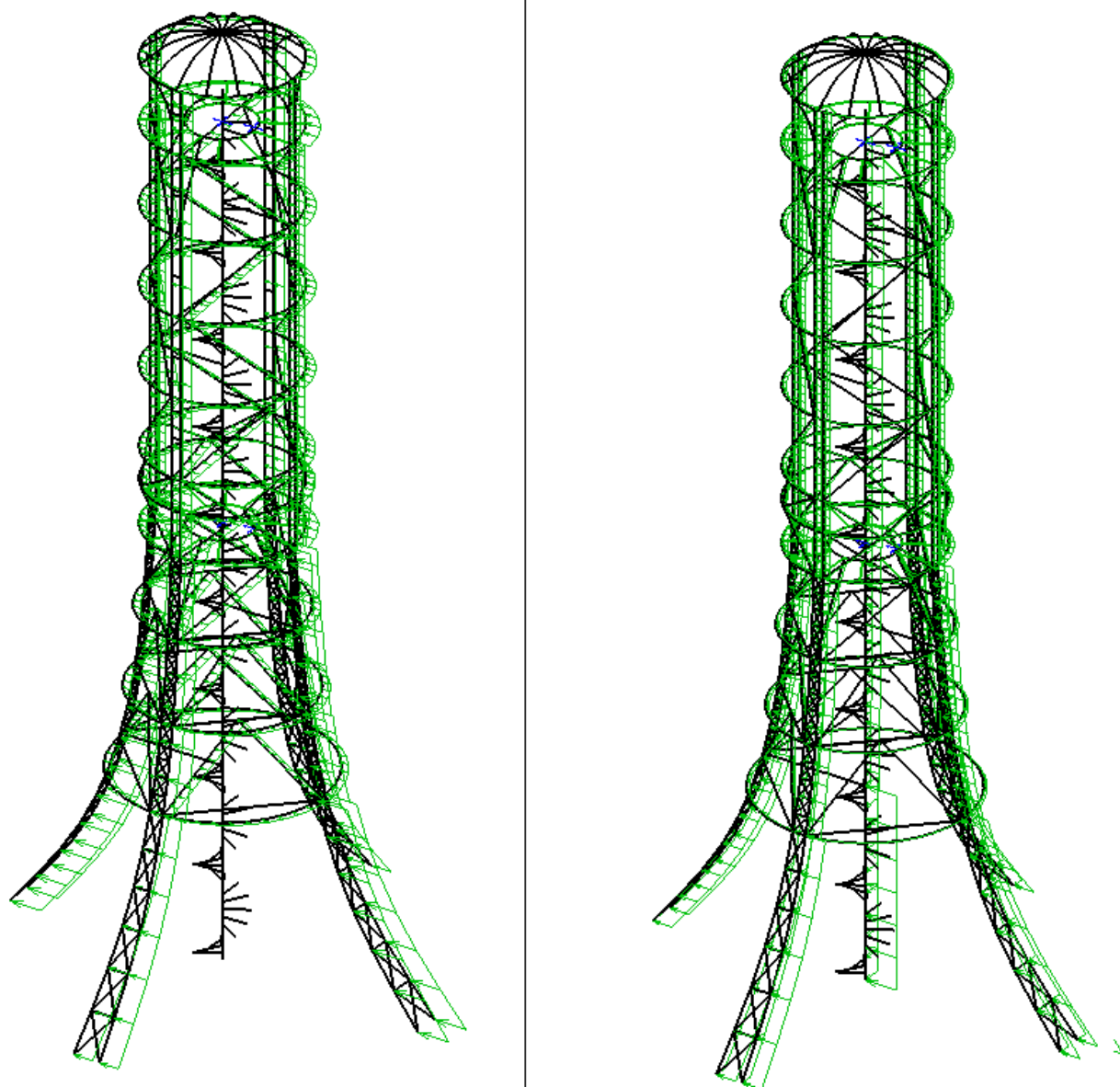
Obr.3.1.:Zatěžovací stav 1 a 2



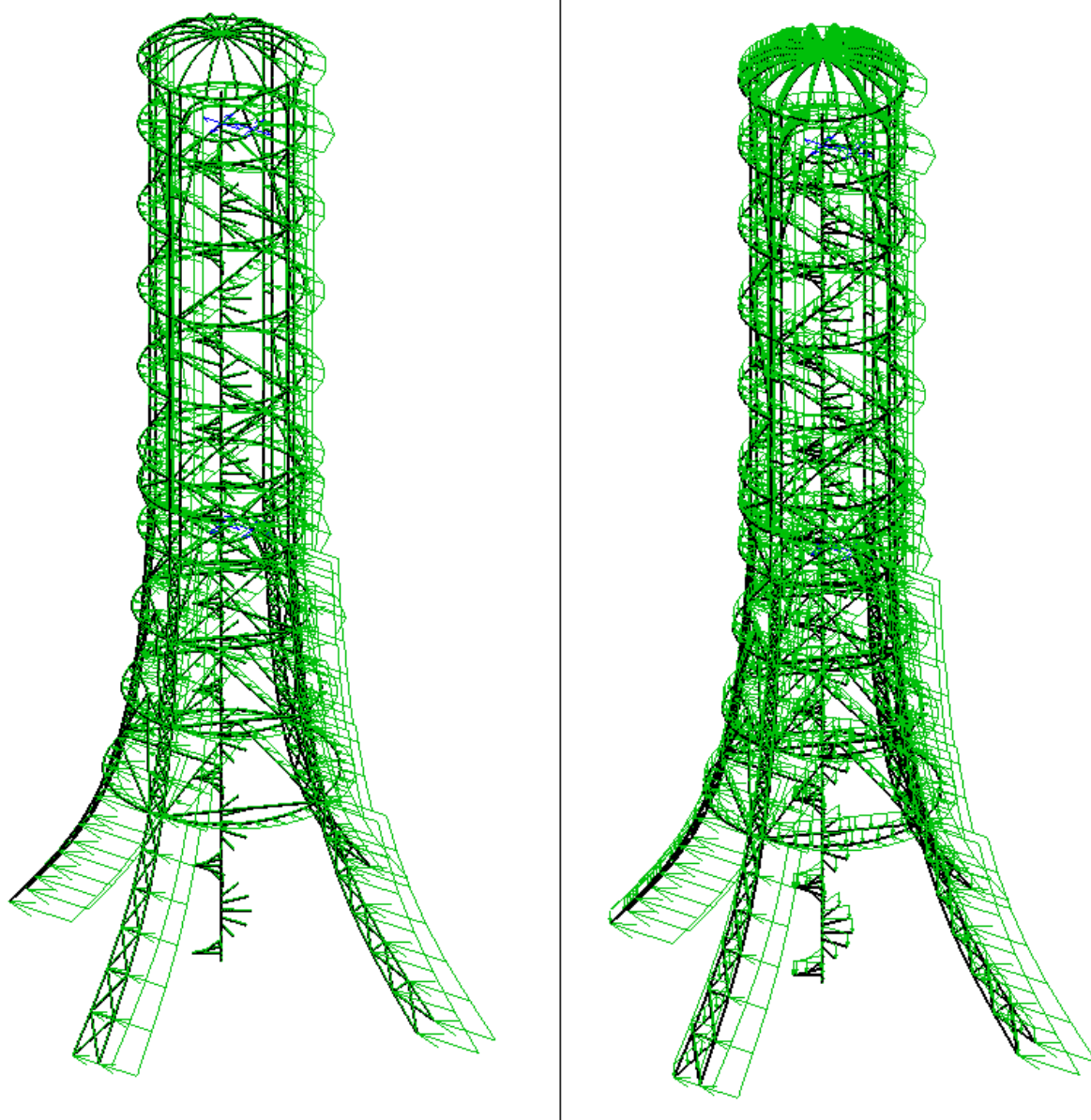
Obr.3.2.:Zatěžovací stav 3 a 4



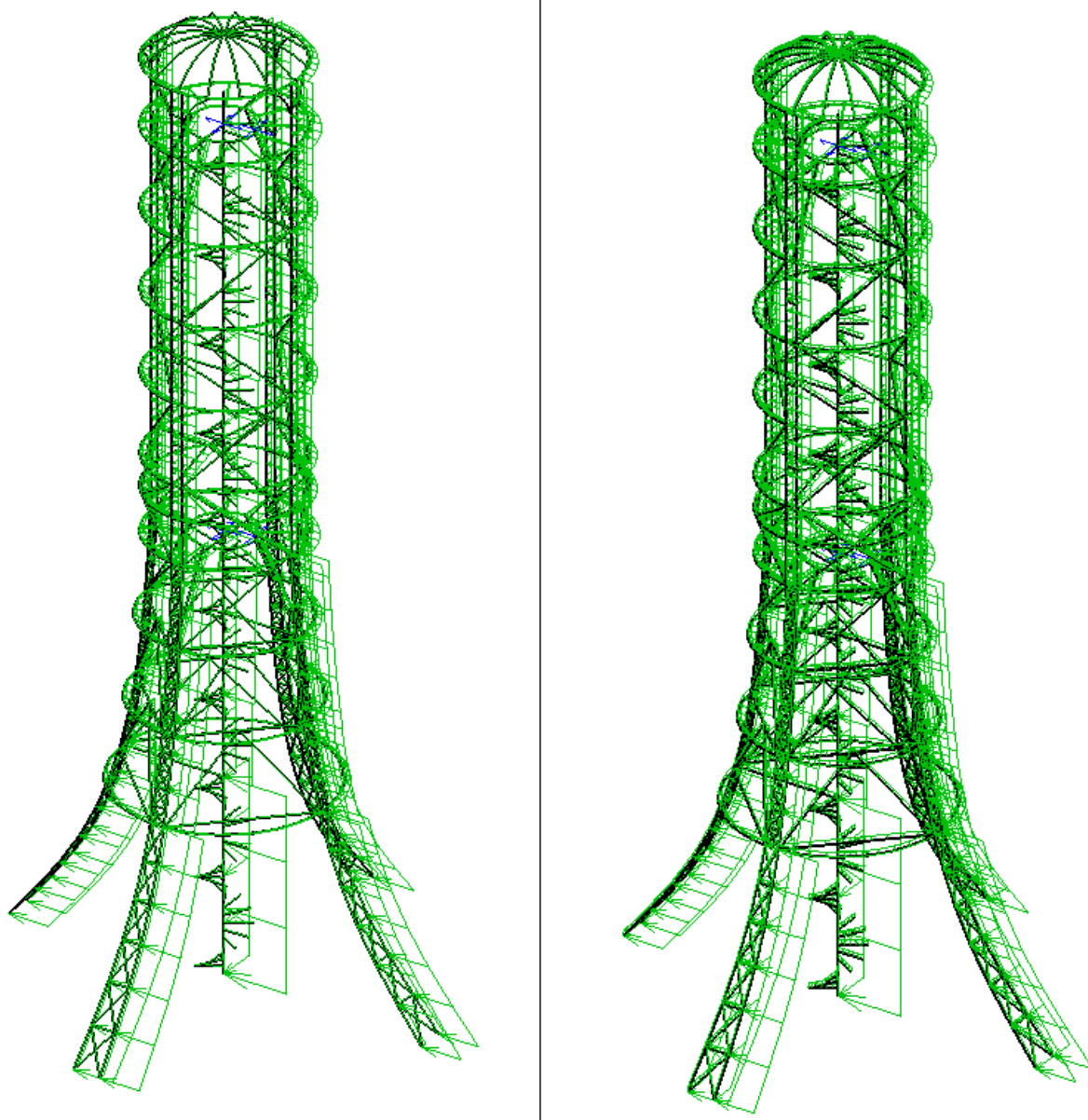
Obr.3.3.:Zatěžovací stav 5 a 6



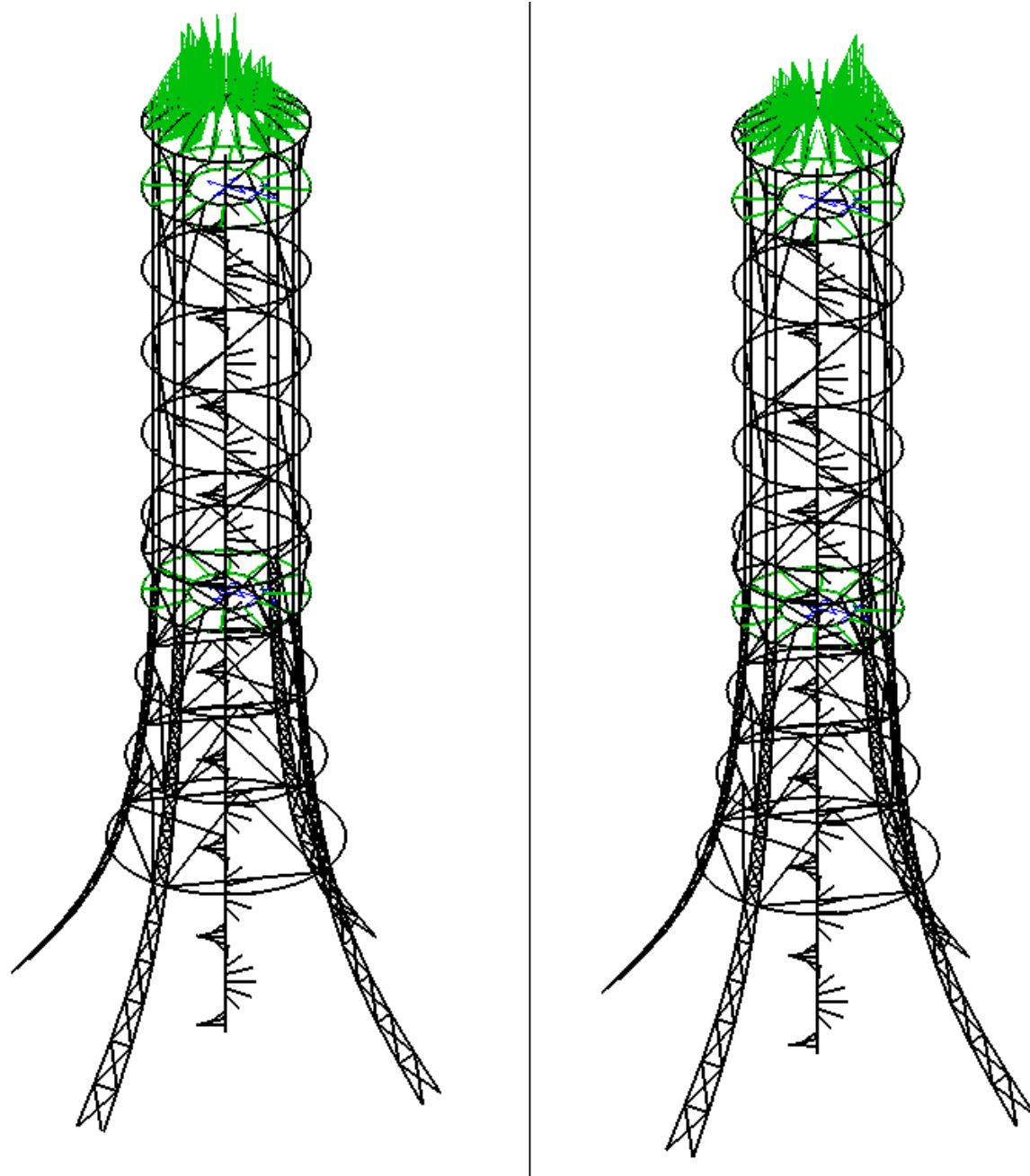
Obr.3.4.:Zatěžovací stav 7 a 8



Obr.3.5.:Zatěžovací stav 9 a 10



Obr.3.6.:Zatěžovací stav 11 a 12



Obr.3.7.:Zatěžovací stav 11 a 12



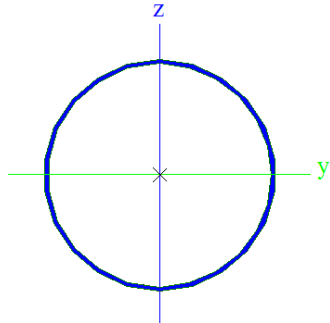
## 6 Posouzení jednotlivých konstrukčních prvků

### 6.1 Vřetenový sloup schodiště

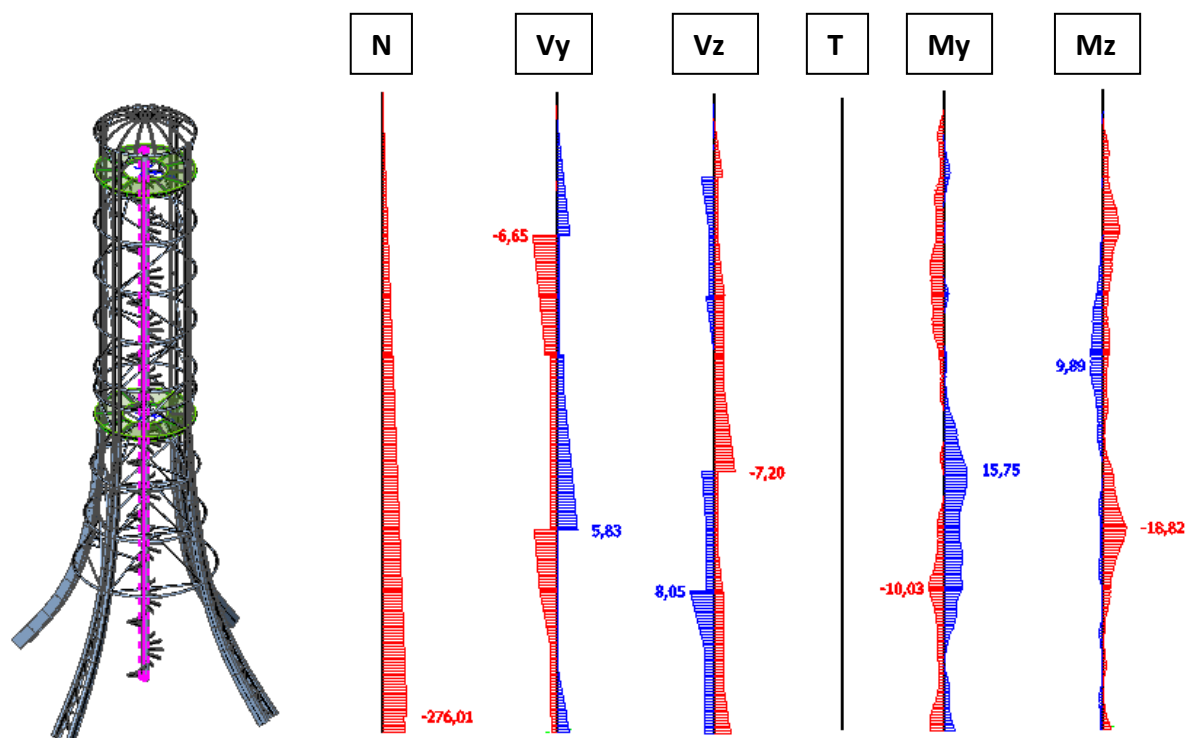
Vnitřní síly	$N_{c,Ed}$ [kN]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	$T_{Ed}$ [kNm]
Kombinace						
Třída MSU-B	-260,37	-6,57	7,58	12,28	-16,43	-0,08
MSU 1178	<b>-260,37</b>	1,81	-2,17	-2,12	-0,66	-0,02
MSU 488	-143,76	5,44	-0,04	6,54	<b>-16,43</b>	-0,02
MSU 439	-28,86	<b>-6,57</b>	-0,85	-1,48	-13,17	-0,08

Průřezové charakteristiky - RO 355x7		
A	9,59E-3	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	6,401E-3	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	6,401E-3	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	1,442E-4	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	1,442E-4	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	2,884E-4	m <sup>4</sup>
I <sub>ω</sub>	5,2629E-39	m <sup>6</sup>
W <sub>el,y</sub>	8,11E-4	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub>	8,11E-4	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,y</sub>	1,0584E-3	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	1,0584E-3	m <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	123	m
i <sub>z</sub>	123	m
Třída průřezu 2		

Materiálové charakteristiky		
E	210E9	Pa
G	81E9	Pa
f <sub>yk</sub>	235E6	Pa
f <sub>uk</sub>	360E6	Pa



Obr.5.1.: Průřez vřetenového sloupu RO 355x7



Obr.5.2.: Zleva : Umístění v konstrukci, vnitřní síly (obálka MSÚ)



### 6.1.1 Dominantní kombinace

MSU 1178 kombinace pro největší normálovou, tlakovou sílu

MSU 488 kombinace pro největší ohybový moment  $M_{z,Ed}$

MSU 439 kombinace pro největší smykovou sílu  $V_{y,Ed}$

#### Obsah kombinací

- **MSU 1178** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS3-Užitné vyhlídky celé(1,05), ZS5-Užitné schodiště celé(1,5), ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(0,9), ZS13-Sníh zadní(0,75)
- **MSU 488** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS5-Užitné schodiště celé(1,05), ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(1,5), ZS13-Sníh zadní(0,75)
- **MSU 439** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS6-Užitné schodiště poloviční (1,05), ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(1,5)

Pozn.: V závorkách uvedeny součinitelé pro skupiny zatížení.

### 6.1.2 Posouzení pevnosti

Posouzení pevnosti provedeno pro extrémní hodnoty vnitřních sil z obálky výsledků pro mezní stav únosnosti souboru B.

#### Tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{6,91 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1623,850 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{260,37}{1623,850} = 0,160 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Smyk

$$V_{y,pl,Rd} = V_{z,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{4,6153 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 626,192 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{6,57}{626,192} = 0,010 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{7,58}{626,192} = 0,012 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Ohybový moment

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7,687 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 180,637 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{12,28}{180,637} = 0,068 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{16,43}{180,637} = 0,091 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Kroucení

Únosnost v kroucení není počítána z důvodu zanedbatelných torzních momentů.

### 6.1.3 Posouzení stability

Pro posouzení stability prvku byla vybrána kombinace 1178 obsahující největší tlakovou sílu.

### Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 6 \text{ m}$$

Pozn.: Vzpěrná délka sloupu uvažována od patky po první uchycení k nosné konstrukci ve výšce 6 m.

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,055 \cdot 10^{-4}}{6^2} = 6073,919 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6}{124 \cdot 10^{-3}} = 48,387 \Rightarrow \text{Štíhlost dílce je bezpečná}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,91 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{6073,919}} = 0,517$$

Kruhový průřez válcovaný za tepla  $\Rightarrow$  **Křivka vzpěrné pevnosti a**  $\Rightarrow$  součinitel imperfekce  **$\alpha=0,21$**

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,517 - 0,2) + 0,517^2] = 0,667$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,667 \cdot \sqrt{0,667^2 - 0,517^2}} = 0,919$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,919 \cdot 6,91 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1492,145 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{260,37}{1492,145} = 0,174 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Vzpěrný tlak a ohybový moment

$$N_{Rk} = f_{yk} \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 6,91 \cdot 10^{-3} = 1623,850 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_{yk} \cdot W_{y,pl} = 235 \cdot 10^6 \cdot 7,687 \cdot 10^{-4} = 180,637 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_{yk} \cdot W_{y,pl} = 235 \cdot 10^6 \cdot 7,687 \cdot 10^{-4} = 180,637 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -260,37 \text{ kN}; M_{y,Ed} = -2,12 \text{ kNm}; M_{z,Ed} = -0,66 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{260,37}{\frac{0,919 \cdot 1623,850}{1,0}} + 0,950 \cdot \frac{2,12}{\frac{1,0 \cdot 180,637}{1,0}} + 0,623 \cdot \frac{0,66}{\frac{180,637}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,174 + 0,011 + 0,002 = 0,18 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{260,37}{\frac{0,919 \cdot 1623,850}{1,0}} + 1,049 \cdot \frac{2,12}{\frac{1,0 \cdot 180,637}{1,0}} + 0,570 \cdot \frac{0,66}{\frac{180,637}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,174 + 0,012 + 0,002 = 0,19 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Tab.5.1: Součinitelé  $k$ ,  $C_m$

Součinitele Interakční $k$ a ekvivalentního momentu $c_m$						
$k_{yy}$	$k_{yz}$	$k_{zy}$	$k_{zz}$	$C_{my}$	$C_{mz}$	$C_{mLT}$
0,950	0,306	0,570	1,049	0,900	0,994	0,977

$\chi_y = \chi_z =$  Součinitelé pro rovinný vzpěr

$\chi_{LT} = 1,0$  Součinitel klopení

Pozn.: Doporučená hodnota součinitele klopení  $\chi_{LT} = 1,0$  pro prvky necitlivé na klopení.

Interakční součinitele	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
$k_{yy}$	I průřezy, pravouhlé duté průřezy	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
$k_{yz}$	I průřezy, pravouhlé duté průřezy	$k_{zz}$	$0,6 k_{zz}$
$k_{zy}$	I průřezy, pravouhlé duté průřezy	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
$k_{zz}$	I průřezy	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	pravouhlé duté průřezy		$C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

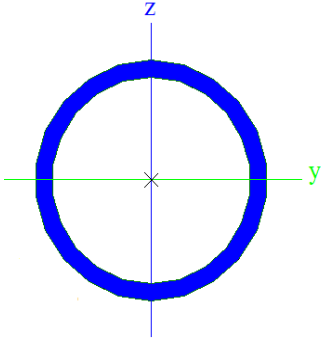
Obr.5.3.: Tabulka z normy [5] přílohy B pro určení interakčních součinitelů

## 6.2 Hlavní ztužení konstrukce

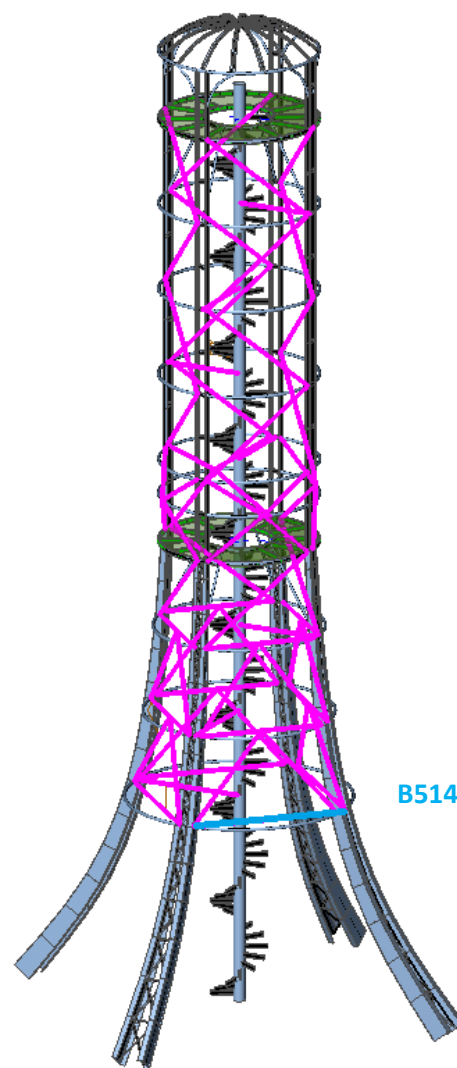
Vnitřní síly	$N_{c,Ed}$	$N_{t,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$
Kombinace	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Třída MSU-B	-70,50	58,93	0,74	-0,65	-0,8	1,05	-0,95
MSU 557	<b>-70,50</b>	-	0,01	0,49	-0,09	-0,05	0,01
MSU 590	-	<b>58,93</b>	0,07	0,08	-0,03	-0,15	-0,01
MSU 479	-	8,86	<b>0,74</b>	-0,44	-0,26	0,61	0,13

Průřezové charakteristiky - RO 70x7		
A	1,40E-03	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	9,55E-04	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	9,55E-04	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	7,03E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	7,03E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	1,41E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>ω</sub>		m <sup>6</sup>
W <sub>el,y</sub>	2,01E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub>	2,01E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,y</sub>	2,81E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	2,81E-05	m <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	22	m
i <sub>z</sub>	22	m
Průřez třídy 1		

Materiálové charakteristiky		
E	210E9	Pa
G	81E9	Pa
f <sub>yk</sub>	235E6	Pa
f <sub>uk</sub>	360E6	Pa



Obr.5.4.: Průřez ztužidel RO 70x7



Obr.5.5.: Posuzované prvky

### 6.2.1 Dominantní kombinace

MSU 557	kombinace pro maximální normálovou, tlakovou sílu
MSU 590	kombinace pro maximální normálovou, tahovou sílu
MSU 479	kombinace pro maximální smykovou sílu

## Obsah kombinací

- **MSU 557** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS3-Užitné vyhlídky celé(1,05), ZS6-Užitné schodiště poloviční, ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(1,5), ZS13-Sníh zadní(0,75)
- **MSU 590** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS3-Užitné vyhlídky celé(1,05), ZS8-Vítr2(1,5)
- **MSU 479** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS3-Užitné vyhlídky celé(1,05), ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(1,5), ZS13-Sníh přední(0,75)

Pozn.: V závorkách uvedeny součinitelé pro skupiny zatížení.

### 6.2.2 Posouzení pevnosti

Posouzení pevnosti provedeno pro extrémní hodnoty vnitřních sil z obálky výsledků pro mezní stav únosnosti souboru B.

#### Tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 239,7 \cdot 10^{-3} N = 239,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{70,5}{239,7} = 0,294 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 239,7 \cdot 10^{-3} N = 239,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{58,93}{239,7} = 0,246 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Smyk

$$V_{y,pl,Rd} = V_{z,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{6,878 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 93,319 \cdot 10^{-3} N = 93,319 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{0,74}{93,319} = 0,008 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{0,65}{93,319} = 0,007 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Ohybový moment

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,1125 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4,964 \cdot 10^{-3} Nm = 4,964 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{0,8}{4,964} = 0,161 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{1,05}{4,964} = 0,232 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### **Kroucení**

Únosnost v kroucení není počítána z důvodu zanedbatelných torzních momentů.

### **Ohybový moment, smyk, osová síla**

Účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze dle normy [5] zanedbat v případě že návrhová hodnota smykových sil je menší než 50 % plastické únosnosti ve smyku  $V_{pl,Rd}$ .

$$V_{y,Ed} = 0,74 \leq 0,5 \cdot V_{y,pl,Rd} = 0,5 \cdot 93,319 = 46,659$$

$$V_{z,Ed} = 0,65 \leq 0,5 \cdot V_{z,pl,Rd} = 0,5 \cdot 93,319 = 46,659 \rightarrow \text{Účinek smykových sil se zanedbává}$$

### **⇒ Šikmý ohyb**

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta = \left( \frac{0,8}{4,156} \right)^2 + \left( \frac{1,15}{4,156} \right)^2 = 0,114 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{y,pl,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = \frac{1-0,29}{1-0,5 \cdot 0,31} = 4,156 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{70,50}{239,7} = 0,29$$

$$a_w = a_f = \frac{(A - 2 \cdot b \cdot t)}{A} = \frac{1,02 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,07 \cdot 0,005}{1,02 \cdot 10^{-3}} = 0,31$$

Pozn.:  $\alpha = \beta = 2,0$  pro kruhové duté průřezy.

## **6.2.3 Posouzení stability**

Posouzení stability provedeno pro vnitřní síly kombinace MSU 557. Jedná se o kombinaci obsahující největší normálovou a zároveň tlakovou sílu.

### **Vzpěr**

Posudek je proveden dle normy [6], štíhlost upravena dle normy [7] - přílohy G,H.

Výpočet vzpěru je dále stanoven na prvku B514 (viz obrázek 5.2.). Jedná se o ztužidlo ve spodní části rozhledny, kde působí maximální normálová, tlaková síla kombinace MSU 557 a zároveň má prvek největší vzpěrnou délku v rovině i z roviny.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 4,23 \text{ m}$$

Pozn.: Vzpěrné délky odpovídají systémové délce prvku.

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,03 \cdot 10^{-7}}{4,23^2} = 81,432 \text{ kN}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,23}{23} = 192,273 \Rightarrow \text{Štíhlost dílce je bezpečná}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{192,273}{93,9} = 2,048$$

Pro konstantní tlakové síly v prvcích s konstantním průřezem se součinitel vzpěrnosti  $\chi$  a součinitel  $\phi$  stanoví s použitím hodnoty účinné poměrné štíhlosti  $\bar{\lambda}_{\text{eff}}$  místo  $\bar{\lambda}$ .

$$\text{v rovině:} \quad \bar{\lambda}_{\text{eff}} = k_y \cdot \bar{\lambda} = 0,85 \cdot 2,048 = 1,74$$

$$\text{z roviny:} \quad \bar{\lambda}_{\text{eff}} = k_z \cdot \bar{\lambda} = 0,95 \cdot 2,048 = 1,945$$

	v rovině	0,85
	z roviny	0,95 <sup>(2)</sup>

Obr. 5.6.: Součinitelé účinné štíhlosti pro ztužení z trubek.

Kruhový průřez válcovaný za tepla  $\Rightarrow$  **Křivka vzpěrné pevnosti a**  $\Rightarrow$  součinitel imperfekce  **$\alpha=0,21$**

#### Vzpěr v rovině

$$\bar{\lambda}_{\text{eff}} = k_y \cdot \bar{\lambda} = 0,85 \cdot 2,048 = 1,74$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{\text{eff}} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{eff}}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,74 - 0,2) + 1,74^2] = 2,176$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_{\text{eff}}^2}} = \frac{1}{2,176 + \sqrt{2,176^2 - 1,74^2}} = 0,287$$

$$N_{y,b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,287 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 94,457 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}} = \frac{70,50}{94,457} = 0,75 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### Z roviny

$$\bar{\lambda}_{\text{eff}} = k_z \cdot \bar{\lambda} = 0,95 \cdot 2,048 = 1,945$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{\text{eff}} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{eff}}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,945 - 0,2) + 1,945^2] = 2,176$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_{eff}^2}} = \frac{1}{2,575 + \sqrt{1,945^2 - 2,575^2}} = 0,235$$

$$N_{z,b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,235 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 77,179 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}} = \frac{70,50}{77,179} = 0,913 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### ***Klopení***

Kruhové duté průřezy nejsou náchylné na klopení.

### **6.2.4 Vyhodnocení**

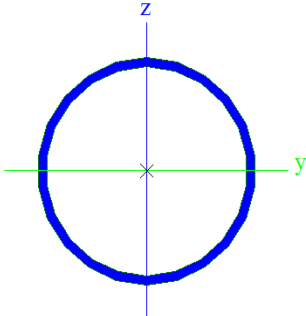
Všechny prvky hlavního ztužení průřezu RO 70x7 vyhovují na posudky pevnosti a stability.

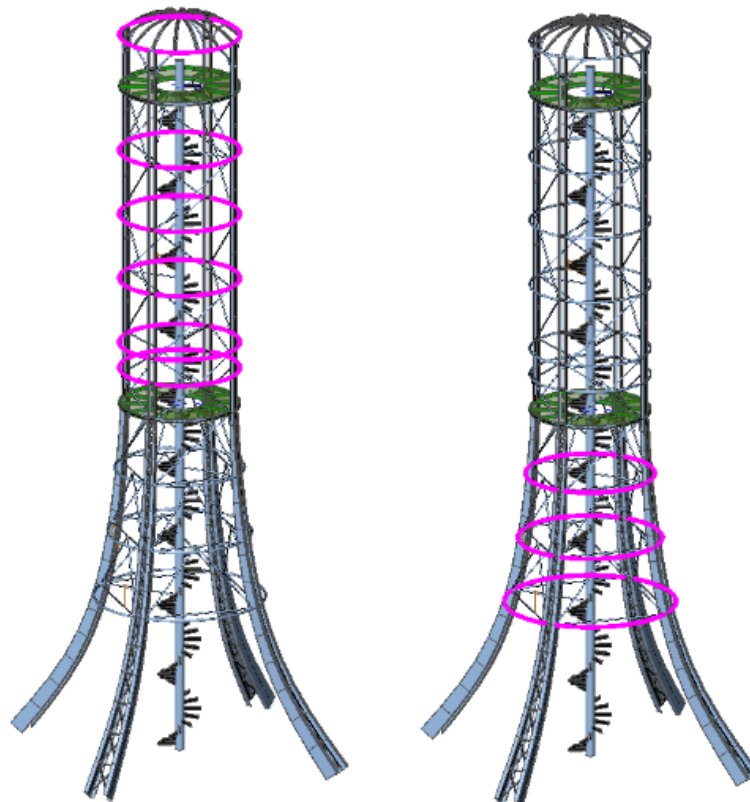


## 6.3 Obruče

Vnitřní síly	$N_{c,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$
Kombinace	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Třída MSU-B	-16,45	5,82	-3,37	1,74	5,66	-0,67
MSU 597	<b>-6,46</b>	-1,46	0,02	-0,01	0,26	0,35
MSU 469	4,91	<b>5,82</b>	-0,22	0,08	<b>5,66</b>	-0,27
MSU 564	<b>-16,45</b>	-1,22	6,73	-0,195	1,575	0,32

Průřezové charakteristiky - RO 102x4		
A	1,23E-3	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	8,2084E-4	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	8,2084E-4	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	1,46E-6	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	1,46E-6	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	2,92E-6	m <sup>4</sup>
I <sub>ω</sub>	6,7614E-5	m <sup>6</sup>
W <sub>el,y</sub>	2,88E-5	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub>	2,88E-5	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,y</sub>	3,8103E-5	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	3,8103E-5	m <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	34	m
i <sub>z</sub>	34	m
Třída průřezu 1		

Materiálové charakteristiky		
E	210E9	Pa
G	81E9	Pa
f <sub>yk</sub>	235E6	Pa
f <sub>uk</sub>	360E6	Pa
		
Obr.5.7.: Průřez obručí RO102x4		



Obr.5.8.: Obruče v horní části konstrukce, obruče ve spodní části konstrukce.

### 6.3.1 Dominantní kombinace

MSU 597	kombinace pro maximální normálovou, tlakovou sílu v horní části konstrukce
MSU 469	kombinace pro maximální ohybový moment $M_{z,Ed}$ a zároveň smykovou sílu $V_{y,Ed}$
MSU 564	kombinace pro maximální normálovou, tlakovou sílu ve spodní části konstrukce

#### Obsah kombinací

- **MSU 597** : ZS1-Vlastní tíha(1,00), ZS2-Ostatní stálé(1,00), ZS5-Užitné schodiště celé(1,05), ZS8-Vítr 2(1,5)
- **MSU 469** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS3-Užitné vyhlídky celé(1,05), ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(1,5), ZS13-Sníh zadní(0,75)
- **MSU 469** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS4-Užitné vyhlídky poloviční(1,05), ZS5-Užitné schodiště celé, ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(1,5), ZS14-Sníh přední(0,75)

Pozn.: V závorkách uvedeny součinitelé pro skupiny zatížení.

### 6.3.2 Posouzení pevnosti

Posouzení pevnosti provedeno pro extrémní hodnoty vnitřních sil z obálky výsledků pro mezní stav únosnosti souboru B.

#### Tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 289,050 \cdot 10^{-3} N = 289,050 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{16,45}{289,050} = 0,057 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### Smyk

$$V_{y,pl,Rd} = V_{z,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8,21 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 11,364 \cdot 10^{-3} N = 11,364 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{5,82}{111,364} = 0,052 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{3,37}{111,364} = 0,030 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### Ohybový moment

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,81 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 8,954 \cdot 10^{-3} Nm = 8,954 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{1,74}{8,954} = 0,194 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{5,66}{8,954} = 0,632 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### **Kroucení**

Únosnost v kroucení není počítána z důvodu zanedbatelných torzních momentů.

### **Ohybový moment, smyk, osová síla**

Účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze dle normy [5] zanedbat v případě že návrhová hodnota smykových sil je menší než 50 % plastické únosnosti ve smyku  $V_{pl,Rd}$ .

$$V_{y,Ed} = 5,82 \leq 0,5 \cdot V_{y,pl,Rd} = 0,5 \cdot 111,364 = 55,682$$

$$V_{z,Ed} = 3,37 \leq 0,5 \cdot V_{z,pl,Rd} = 0,5 \cdot 111,364 = 55,682$$

→ Účinek **smykových sil se zanedbává**

### **⇒ Šikmý ohyb**

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta = \left( \frac{1,74}{10,525} \right)^2 + \left( \frac{5,66}{10,525} \right)^2 = 0,316 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{y,pl,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = \frac{1-0,29}{1-0,5 \cdot 0,31} = 10,525 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{70,50}{239,7} = 0,02$$

$$a_w = a_f = \frac{(A - 2 \cdot b \cdot t)}{A} = \frac{1,23 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,102 \cdot 0,004}{1,23 \cdot 10^{-3}} = 0,34$$

Pozn.:  $\alpha = \beta = 2,0$  pro kruhové duté průřezy.

### **6.3.3 Posouzení stability**

Posouzení stability bylo řešeno zvlášť pro obruče v horní části konstrukce a zvlášť pro obruče ve spodní části konstrukce (obr.) a to z důvodu odlišnosti vnitřních sil a rozměrů prvků.

Jelikož kruhové průřezy nejsou citlivé na klopení byl na obručích vyřešen pouze posudek na vzpěr.

### **Vzpěr a ohybový moment - obruče v horní části konstrukce**

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,24 \text{ m}$$

Pozn.: Vzpěrná délka obručí brána jako délka oblouku obruče, tedy systémová délka.

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,46 \cdot 10^{-6}}{3,24^2} = 288,258 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,24}{34 \cdot 10^{-3}} = 95,294 \Rightarrow \text{Štíhlost dílce je bezpečná}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{288,258}} = 1,001$$

Kruhový průřez válcovaný za tepla  $\Rightarrow$  **Křivka vzpěrné pevnosti a**  $\Rightarrow$  součinitel imperfekce  **$\alpha=0,21$**

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,001 - 0,2) + 1,001^2] = 1,086$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,086 \cdot \sqrt{1,086^2 - 1,001^2}} = 0,665$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z N_{Rk}} \leq 1$$

$$\frac{16,45}{0,407 \cdot 289,5} + \frac{5,66}{8,95} \leq 1$$

$$0,139 + 0,632 \leq 1$$

$$0,771 \leq 1 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Vzpěr a ohybový moment - obruče ve spodní části konstrukce**

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 4,6 \text{ m}$$

Pozn.: Vzpěrná délka obručí brána jako délka oblouku obruče, tedy systémová délka.

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,46 \cdot 10^{-6}}{4,6^2} = 143,001 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,6}{34 \cdot 10^{-3}} = 135,294 \Rightarrow \text{Štíhlost dílce je bezpečná}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{143,001}} = 1,422$$

Kruhový průřez válcovaný za tepla  $\Rightarrow$  **Křivka vzpěrné pevnosti a**  $\Rightarrow$  součinitel imperfekce  **$\alpha=0,21$**

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,517 - 0,2) + 0,517^2] = 1,638$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,638 \cdot \sqrt{1,638^2 - 1,422^2}} = 0,407$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z N_{Rk}} \leq 1$$

$$\frac{16,45}{0,407 \cdot 289,5} + \frac{5,66}{8,95} \leq 1$$

$$0,139 + 0,632 \leq 1$$

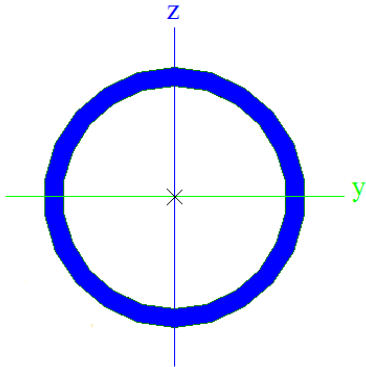
$$0,771 \leq 1 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## 6.4 Podpěry vyhlídkové plošiny

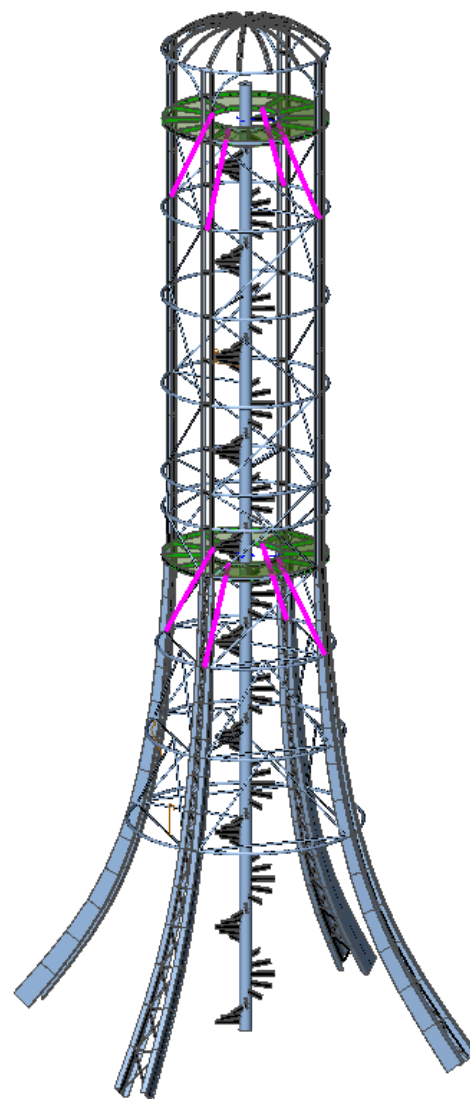
Vnitřní síly	$N_{c,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$
Kombinace	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Třída MSU-B	-24,72	-0,61	-0,66	-0,82	1,08	-1,39
MSU 906	<b>-24,72</b>	0,14	0,00	0,00	0,02	0,92

Průřezové charakteristiky - RO 83x5		
A	1,22E-03	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	8,18E-04	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	8,18E-04	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	9,18E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	9,18E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	1,84E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>ω</sub>	1,836E-42	m <sup>6</sup>
W <sub>el,y</sub>	2,22E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub>	2,22E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,y</sub>	3,00E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	3,00E-05	m <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	27	m
i <sub>z</sub>	27	m
Průřez třídy 1		

Materiálové charakteristiky		
E	210E9	Pa
G	81E9	Pa
f <sub>yk</sub>	235E6	Pa
f <sub>uk</sub>	360E6	Pa



Obr.5.9.:Průřez ztužidel RO 83x5



Obr.5.10.:Posuzované prvky

### 6.4.1 Dominantní kombinace

MSU 906 kombinace pro maximální normálovou, tlakovou sílu

#### Obsah kombinací

- MSU 906** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS3-Užitné vyhlídky celé(1,05), ZS5-Užitné schodiště celé(1,5), ZS12-Námraza+vitr2-2.kom.(0,9), ZS13-Sníh zadní(0,75)

### 6.4.2 Posouzení pevnosti

Posouzení pevnosti provedeno pro extrémní hodnoty vnitřních sil z obálky výsledků pro mezní stav únosnosti souboru B.

#### **Tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,22 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 286,700 \cdot 10^{-3} N = 286,700 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{24,72}{286,700} = 0,086 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### **Smyk**

$$V_{y,pl,Rd} = V_{z,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8,18 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 111,019 \cdot 10^{-3} N = 111,019 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{0,61}{111,019} = 0,005 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{0,66}{111,019} = 0,006 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### **Ohybový moment**

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,81 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 7,057 \cdot 10^{-3} Nm = 7,057 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{0,82}{7,057} = 0,153 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{1,08}{7,057} = 0,197 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### **Kroucení**

Únosnost v kroucení není počítána z důvodu zanedbatelných torzních momentů.

#### **Ohybový moment, smyk, osová síla**

Účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze dle normy [5] zanedbat v případě že návrhová hodnota smykových sil je menší než 50 % plastické únosnosti ve smyku  $V_{pl,Rd}$ .

$$V_{y,Ed} = 0,61 \leq 0,5 \cdot V_{y,pl,Rd} = 0,5 \cdot 111,019 = 55,509$$

$$V_{z,Ed} = 0,66 \leq 0,5 \cdot V_{z,pl,Rd} = 0,5 \cdot 111,019 = 55,509$$

→ Účinek smykových sil se zanedbává

#### **⇒ Šikmý ohyb**

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} = \left(\frac{0,82}{7,675}\right)^2 + \left(\frac{1,08}{7,675}\right)^2 = 0,053 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{y,pl,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = \frac{1-0,09}{1-0,5 \cdot 0,31} = 7,675 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{24,72}{286,700} = 0,09$$

$$a_w = a_f = \frac{(A - 2 \cdot b \cdot t)}{A} = \frac{1,22 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,083 \cdot 0,005}{1,22 \cdot 10^{-3}} = 0,32$$

Pozn.:  $\alpha = \beta = 2,0$  pro kruhové duté průřezy.

### 6.4.3 Posouzení stability

Posouzení stability bylo řešeno zvlášť pro obruče v horní části konstrukce a zvlášť pro obruče ve spodní části konstrukce (obr.) a to z důvodu odlišnosti vnitřních sil a rozměrů prvků.

Jelikož kruhové průřezy nejsou citlivé na klopení byl na obručích vyřešen pouze posudek na vzpěr.

#### Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,795 \text{ m}$$

Pozn.: Vzpěrná délka obručí brána jako délka oblouku obruče, tedy systémová délka.

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 9,18 \cdot 10^{-7}}{2,795^2} = 243,556 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,795}{27 \cdot 10^{-3}} = 103,519 \Rightarrow \text{Štíhlost dílce je bezpečná}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,22 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{243,556}} = 1,085$$

Kruhový průřez válcovaný za tepla  $\Rightarrow$  **Křivka vzpěrné pevnosti a**  $\Rightarrow$  součinitel imperfekce  **$\alpha=0,21$**

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,001 - 0,2) + 1,001^2] = 1,181$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,086 \cdot \sqrt{1,086^2 - 1,001^2}} = 0,606$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,665 \cdot 1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 173,838 \text{ kN}$$

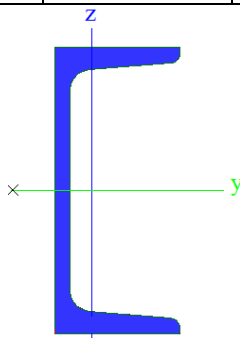
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{24,72}{173,838} = 0,142 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 6.5 Obvodové nosníky vyhlídkové plošiny

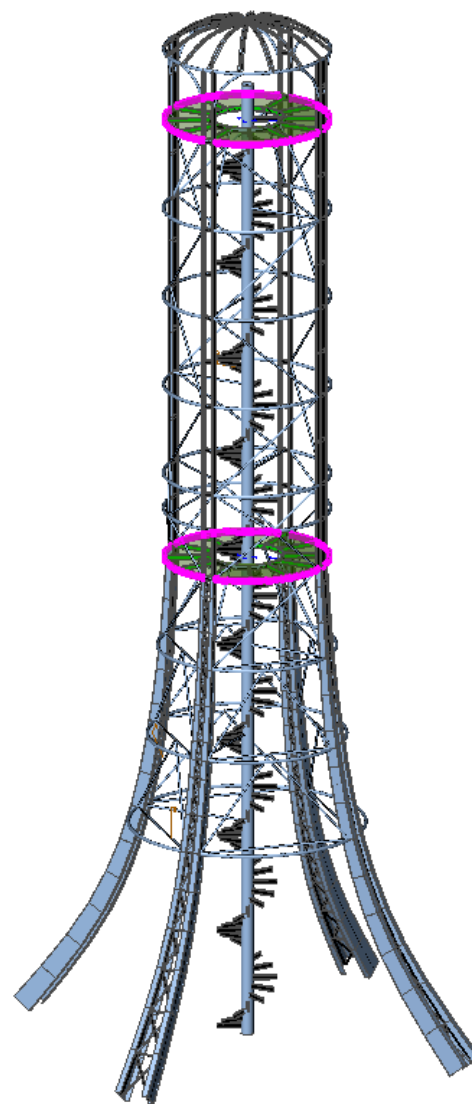
Vnitřní síly	$N_{c,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$
Kombinace	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Třída MSU-B	-6,74	-5,17	-7,02	-9,06	-2,96	0,45
MSU 415	-6,74	-0,49	-0,23	0,29	1,6	0,04
MSU 829	<b>-1,37</b>	-1,90	-7,02	-9,06	-1,13	-0,45

Průřezové charakteristiky - U140		
A	2,04E-03	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	1,1529E-03	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	9,8472E-04	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	6,05E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	6,27E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	5,68E-08	m <sup>4</sup>
I <sub>ω</sub>	2,0764E-09	m <sup>6</sup>
W <sub>el,y</sub>	8,64E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub>	1,48E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,y</sub>	1,0455E-04	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	1,0455E-04	m <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	54	mm
i <sub>z</sub>	18	mm
Průřez třídy 1		

Materiálové charakteristiky		
E	210E9	Pa
G	81E9	Pa
f <sub>yk</sub>	235E6	Pa
f <sub>uk</sub>	360E6	Pa



Obr.5.11.: Průřez ztužidel U140



Obr.5.12.: Posuzované prvky

### 6.5.1 Dominantní kombinace

MSU 415 kombinace pro maximální normálovou, tlakovou sílu

MSU 829 kombinace pro maximální ohybový moment  $M_{y,Ed}$  a zároveň  $V_{z,Ed}$



## Obsah kombinací

- **MSU 415** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(1,5), ZS14-Sníh přední (0,75)
- **MSU 829** : ZS1-Vlastní tíha(1,15), ZS2-Ostatní stálé(1,15), ZS4-Užitné vyhlídek poloviční(1,5), ZS12-Námraza+vítr2-2.kom.(0,9), ZS14-Sníh přední(0,75)

Pozn.: V závorkách uvedeny součinitelé pro skupiny zatížení.

### 6.5.2 Posouzení pevnosti

Posouzení pevnosti provedeno pro extrémní hodnoty vnitřních sil z obálky výsledků pro mezní stav únosnosti souboru B.

#### Tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,04 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 479,4 \cdot 10^{-3} N = 479,4 kN$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{6,74}{479,4} = 0,014 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### Smyk

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,1529 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 156,422 \cdot 10^{-3} N = 156,422 kN$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{9,85 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 133,604 \cdot 10^{-3} N = 133,604 kN$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{5,17}{156,422} = 0,033 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{7,02}{133,604} = 0,053 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### Ohybový moment

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,05 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 24,569 \cdot 10^{-3} Nm = 24,569 kNm$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,83 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 6,653 \cdot 10^{-3} Nm = 6,653 kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{7,53}{24,569} = 0,306 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{2,05}{6,653} = 0,308 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Kroucení

Únosnost v kroucení není počítána z důvodu zanedbatelných torzních momentů.

### 6.5.3 Posouzení stability

#### Vzpěr v rovině

$$L_{cr,y} = 3,24 \text{ m}$$

Pozn.: Vzpěrná délka obvodových nosníků vyhlídek brána jako délka oblouku nosníků, tedy systémová délka.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,05 \cdot 10^{-6}}{3,24^2} = 1194,495 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,24}{54 \cdot 10^{-3}} = 60 \Rightarrow \text{Štíhlost dílce je bezpečná}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,04 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1194,495}} = 0,634$$

**Křivka vzpěrné pevnosti c**  $\Rightarrow$  Součinitel imperfekce  **$\alpha=0,49$**

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,634 - 0,2) + 0,634^2] = 0,807$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,807 \cdot \sqrt{0,807^2 - 0,634^2}} = 0,765$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,765 \cdot 2,04 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 366,907 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{6,74}{366,907} = 0,018 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### Vzpěr z roviny

$$L_{cr,z} = 3,24 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,27 \cdot 10^{-7}}{3,24^2} = 123,793 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,24}{18 \cdot 10^{-3}} = 180 \Rightarrow \text{Štíhlost dílce je bezpečná}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,04 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{123,793}} = 1,968$$

**Křivka vzpěrné pevnosti c**  $\Rightarrow$  součinitel imperfekce  **$\alpha=0,49$**

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,968 - 0,2) + 1,968^2] = 2,869$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,869 \cdot \sqrt{2,869^2 - 1,968^2}} = 0,202$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,202 \cdot 2,04 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 96,697 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{6,74}{96,697} = 0,07 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### **Klopení**

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 6,27 \cdot 10^{-7} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 5,68 \cdot 10^{-8}}}{3,24} = 28,144 \text{ kN}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[ \sqrt{1 + 0,299^2 \cdot (0,46 \cdot 0 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0 - 0,53 \cdot 0) \right] = 1,179$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 3,24} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,08 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 10^9 \cdot 5,68 \cdot 10^{-8}}} = 0,299$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1,0 \cdot 3,24} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,27 \cdot 10^{-7}}{81 \cdot 10^9 \cdot 5,68 \cdot 10^{-8}}} = 0,000$$

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1,0 \cdot 3,24} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 6,27 \cdot 10^{-7}}{81 \cdot 10^9 \cdot 5,68 \cdot 10^{-8}}} = 0,000$$

**Křivka klopení d**  $\Rightarrow$  Součinitel imperfekce při klopení  $\alpha_{LT} = 0,76$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 0,559 \cdot 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{235 \cdot 10^9}{1,0} = 14,726$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,05 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^9}{28,144}} = 0,934$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,634 - 0,2) + 0,634^2] = 1,030$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,030 \cdot \sqrt{1,030^2 - 0,75 \cdot 0,934^2}} = 0,559$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{7,53}{14,726} = 0,615 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$k_{yz} = 1,0$$

$\Psi = 1,0$  (konzervativně pro konstantní ohybový moment  $M_y$ )

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (2 \cdot 0,634 - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) =$$

$$= 1,0 \left( 1 + (2 \cdot 0,634 - 0,2) \frac{6,74}{0,765 \cdot 479,4 / 1,0} \right) = 1,096$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{6,74}{\frac{0,765 \cdot 479,4}{1,0}} + 1,096 \cdot \frac{7,53}{\frac{0,559 \cdot 24,569}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{2,05}{\frac{6,553}{1,0}} \leq 1$$

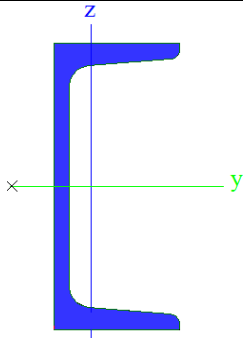
$$0,018 + 0,602 + 0,313 \leq 1$$

$$0,935 \leq 1 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## 6.6 Horní část nárožníků

Vnitřní síly	$N_{c,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$
Kombinace	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Třída MSU-B	-93,33	-3,03	3,21	-4,02	-1,82	0,02
MSU 469	-93,13	-2,20	2,13	0,17	1,22	0,00

Průřezové charakteristiky -U140		
A	2,04E-03	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	1,1529E-03	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	9,8472E-04	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	6,05E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	6,27E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	5,68E-08	m <sup>4</sup>
I <sub>ω</sub>	2,0764E-09	m <sup>6</sup>
W <sub>el,y</sub>	8,64E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub>	1,48E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,y</sub>	1,0455E-04	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	1,0455E-04	m <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	54	mm
i <sub>z</sub>	18	mm
Průřez třídy 1		

Materiálové charakteristiky		
E	210E9	Pa
G	81E9	Pa
f <sub>yk</sub>	235E6	Pa
f <sub>uk</sub>	360E6	Pa
		
Obr.5.13: U140		

Obr.5.14.: Posuzované prvky

Posouzení pevnosti prvku bylo řešeno, ale z důvodu pracnosti opisování vynecháno. Prvky posouzeny na nejhorší variantu, tedy na vzpěr.

### 6.6.1 Posouzení stability

#### Vzpěr

$$L_{cr} = 2500 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2500}{18} = 138,8$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{138,8}{93,9} = 1,479$$

**Křivka vzpěrné pevnosti**  $\Rightarrow$  Součinitel imperfekce  **$\alpha=0,49$**

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,479 - 0,2) + 1,479^2] = 1,907$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,907 + \sqrt{1,907^2 - 1,479^2}} = 0,322$$

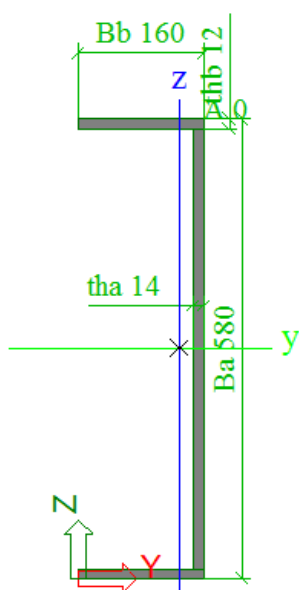
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,322 \cdot 2,04 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 154,37 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 93,33 \text{ kN} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## 6.7 Spodní část nárožníků

Vnitřní síly	$N_{c,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$
Kombinace	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Třída MSU-B	-272,3	5,52	-46,32	40,21	0,62	0,09
MSU 469	-192,4	0,66	12,88	-81,98	-0,19	0

Průřezové charakteristiky - U140		
A	12,42-03	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	1,1529E-03	m <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	9,8472E-04	m <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	6,05E-06	m <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	6,27E-07	m <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	5,68E-08	m <sup>4</sup>
I <sub>ω</sub>	2,0764E-09	m <sup>6</sup>
W <sub>el,y</sub>	8,64E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub>	1,48E-05	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,y</sub>	1,0455E-04	m <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub>	1,0455E-04	m <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	240	mm
i <sub>z</sub>	72	mm
Průřez třídy 2		

Materiálové charakteristiky		
E	210E9	Pa
G	81E9	Pa
f <sub>yk</sub>	235E6	Pa
f <sub>uk</sub>	360E6	Pa



Obr.5.15.:Svařovaný U 580x160



Obr.5.16.:Posuzované prvky

Posouzení pevnosti prvku bylo řešeno, ale z důvodu pracnosti opisování vynecháno. Prvky posouzeny na nejhorší variantu, tedy na vzpěr.

### 6.7.1 Posouzení stability

#### *Vzpěr*

$$L_{cr} = 6960 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6960}{72} = 96,66$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{96,66}{93,9} = 1,029$$

**Křivka vzpěrné pevnosti d**  $\Rightarrow$  Součinitel imperfekce  **$\alpha=0,74$**

$$\alpha = 0,74$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,74(1,029 - 0,2) + 1,029^2] = 1,336$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,336 + \sqrt{1,336^2 - 1,029^2}} = 0,457$$

#### *Vzpěr a ohybový moment*

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{192,4}{\frac{0,457 \cdot 2918,7}{1,0}} + \frac{81,98}{\frac{347,0}{1,0}} + \frac{0,19}{\frac{67,8}{1,0}} \leq 1$$

$$0,144 + 0,236 + 0,003 \leq 1$$

$$0,383 \leq 1 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$



## 7 Technická zpráva

### 7.1 Popis konstrukce

Konstrukce rozhledny je navržena jako ocelová příhradová konstrukce s vnitřní vřetenovým schodištěm a je založena na betonových patkách. Tvar a rozměry konstrukce vycházejí z architektonického řešení.

U konstrukce se předpokládá zatížení návštěvníky a klimatickými vlivy. Zatížení návštěvníky bylo stanoveno dle normy [1] a zařazeno do kategorie C3 pro schodišťový prostor a C5 pro vyhlídkovou plošinu. Mezi klimatické vlivy, které byly na konstrukci řešeny patří sníh, vítr a námraza.

Konstrukční řešení vychází z návrhu architekta stavby. Hlavními prvky konstrukce jsou 4 nárožníky a vnitřní trubka, na které bude osazeno vřetenové schodiště. Nárožníky vycházejí z betonových patek a mají profil ze 2 svařovaných profilů U 580x160 s tl. stojiny 14 mm a tl. pásnice 12 mm, které jsou v patce od sebe vzdáleny cca. 1000mm. Nárožníky po výšce mění svůj profil podle požadavků architektonického řešení a přechází až do členěného profilu ze dvou U140. Mezera mezi profily bude překryta tahokovem.

Vnitřní trubka je z profilu RO 355x7. V konstrukci rozhledny jsou plánovány dvě podesty. Jedna ve výšce 13,5 m nad terénem, která bude sloužit k minutí vystupujících a sestupujících a druhá ve výšce 26 m nad terén, která bude vyhlídková. Oběma plošinami mají stejné konstrukční řešení. Po obvodu plošiny jsou umístěny profily U140 a mezi těmito profily jsou pnuty nosníky profilu IPE140, na kterých jsou uloženy rošty. Na obou plošinách je umístěno zábradlí se svislou výplní o výšce 1100mm. Zábradlí je umístěno na vnější i vnitřní hraně podest. Celá konstrukce rozhledny je ztužena příhradovinou z profilů RO 70x5, RO 83x4 a L50x5. Po 2,5m jsou vnější nárožníky spojeny obručemi z profilu RO 102x4.

Schodiště na rozhlednu je klasické vřetenové. Jednotlivé stupně budou kotveny do vřetenové trubky. Stupně budou tvořeny ocelovým rámečkem s výplní ocelovým roštem. Schodiště bude vybaveno zábradlím se svislou výplní o výšce 1100mm. Šířka schodiště je 800mm (jednosměrné).

#### ***Střešní plášť***

Střešní plášť rozhledny je navržen jako plechová krytina na dřevěném bednění. Na nosné ocelové konstrukci budou přichyceny pomocné dřevěné krokve, které budou mít horní hranu opravenou dle požadovaného tvaru střechy, mezi ocelovou konstrukcí a dřevěnými částmi bude vložena asfaltová lepenka. Na dřevěných krokvích bude dále provedeno dřevěné bednění, na něm bude položena separační fólie s distančními nopy, která bude sloužit jako podklad pro plechovou krytinu se stojatou drážkou. Krytina bude plechová z měkkého materiálu tloušťky min. 0,6mm.

#### ***Základy***

Ocelová konstrukce je založena na 5-ti betonových patkách. Jedna z patek se nachází pod trubkou, která je nosným prvkem vřetenového schodiště. Další čtyři patky se nachází po jednotlivých nohách rozhledny. Tahové síly vznikající převážně od větru budou přenášeny přes patky do podloží pomocí mikropilot, které budou umístěny pod středem patky. Kotvení ocelové

konstrukce bude pomocí roštů a ocelových šroubů s T hlavou M36, kotvení sloupu vřetenového schodiště bude pomocí lepených šroubů M20. Základy rozhledny jsou na ploše zhruba 13x13m.

### **Materiál, hmotnost OK**

Hlavní nosná konstrukce rozhledny je navržena z oceli S235 J2. Hmotnost hlavní nosné konstrukce činí cca 24,3 tun.

### **Montážní dělení, způsob montáže**

Montáž konstrukce rozhledny bude provedena ve 3 stupních. Každý stupeň bude tvořit část nárožníků spojených diagonálními prvky a prstenci. Montáž bude prováděna tak, že každá část konstrukce se předmontuje na místě a poté se zvedne a usadí na místo, kde se přišroubuje k již namontované konstrukci. Zábradlí na podestách a na schodišti bude montováno v průběhu montáže postupně s přibývajícím výškou rozhledny.

### **Ochrana proti korozi**

Ochrana proti korozi je navržena podle požadavků na minimální náklady údržby konstrukce. Z těchto požadavků je konstrukce navržena jako pozinkovaná. V rámci barevného řešení bude konstrukce doplněna barevnými nátěry – viz barevné řešení ve stavební části.

### **Požadavky na výrobu a montáž**

Na výrobu nejsou kladeny vyšší požadavky, než odpovídají výrobní skupině EXC2 podle ČSN EN 1090-2. Při výrobě je nutno věnovat zvýšenou péči tvaru nárožníků, která budou náročné pro jejich proměnný profil a zakřivení v různých rovinách.

### **Elektroinstalace a uzemnění**

Na rozhledně ani v okolí není osvětlení ani signální označení vrcholu, proto není nutné navrhovat speciální úpravy. Hromosvod a uzemnění bude provedeno spojením s výztuží základových bloků. Ocelová konstrukce rozhledny bude sloužit jako vodič.

## 8 Kotvení rozhledny

### 8.1 Smyková zarážka

Zarážka je navržena na přenesení maximálních vodorovných reakcí:

$$R_{y,max,Ed} = 137,05 \text{ kN}$$

$$R_{x,max,Ed} = 146,55 \text{ kN}$$

Zarážka bude tvořena úpalkem profilu **HEB 240**

Potřebná výška zarážky v betonovém základě:

$$h_{min} = \frac{R_{x,max,Ed} \cdot \gamma_c}{b \cdot f_{ck}} + h_{podlití} = \frac{146,55 \cdot 10^3 \cdot 1,5}{240 \cdot 20} + 25 = 70,8 \text{ mm}$$

navržena zarážka:  **$h = 100 \text{ mm}$**

Svary připojující zarážku k patní desce:

Navržen koutový svar  **$a = 4 \text{ mm}$**

Stojina:

$$\tau_{II} = \frac{R_{x,max,Ed}}{2a_w \cdot (h - 2t_f)} = \frac{146,55 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot (240 - 2 \cdot 17)} = 88,9 \text{ MPa}$$

$$88,9 \text{ MPa} \leq f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3 \cdot \beta \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{360}{\sqrt{3 \cdot 0,8 \cdot 1,25}} = 207,8 \text{ MPa}$$

Pásnice:

$$\tau_{II} = \frac{R_{y,max,Ed}}{4a_w \cdot b} = \frac{137,05 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot 240} = 38,2 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} \frac{1}{\sqrt{2}} &= \left( \frac{R_{x,max,Ed} \cdot 70}{(h - t_f) 2a_w b} + \frac{R_{y,max,Ed} \cdot 70}{4 \cdot \frac{1}{6} a_w b^2} \right) \\ &= \left( \frac{146,55 \cdot 10^3 \cdot 100}{(240 - 17) \cdot 2 \cdot 4 \cdot 240} + \frac{137,05 \cdot 10^3 \cdot 100}{4 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 240^2} \right) = 124,3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{124,3^2 + 3 \cdot (124,3^2 + 38,2^2)} = 253,1 \text{ MPa}$$

$$253,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 124,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288,0 \text{ MPa}$$

## Kotevní deska, kotevní šrouby, podlití

Posouzeno v programu HILTI ProfisAnchor.

### Zatížení:

Konzervativně posouzeno na maximální tahové namáhání v kombinaci s maximálními posouvajícími silami:

$$R_{z,max,Ed} = 155,69 \text{ kN (tahová reakce)}$$

$$R_{y,max,Ed} = 137,05 \text{ kN (vodorovná reakce v příčném směru ... přenese smyková zarážka)}$$

$$R_{x,max,Ed} = 146,55 \text{ kN (vodorovná reakce v příčném směru ... přenese smyková zarážka)}$$



www.hilti.com

Profis Anchor 2.5.2

Společnost:  
Projektant: Vítězslav Širocký  
Adresa:  
Telefon I fax:  
E-mail:

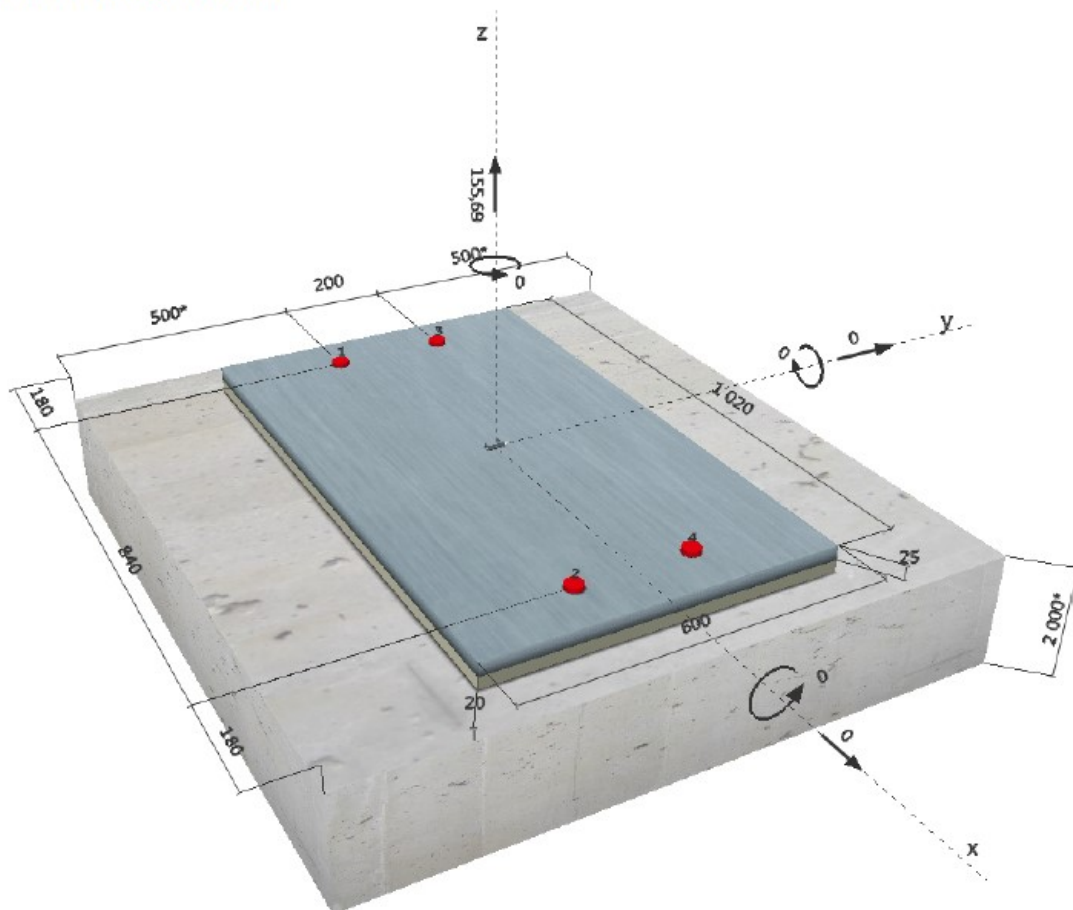
Strana: 1  
Projekt: Kotva  
Dílčí projekt / pozice č.:  
Datum: 4.5.2015

Komentář uživatele:

### 1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:	HIT-HY 200-A + Rebar 32mm
Efektivní kotvení hloubka:	$h_{ef,act} = 500 \text{ mm}$ ( $h_{ef,limit} = - \text{ mm}$ )
Materiál:	B500B
Certifikát č.:	ETA 11/0493
Vydaný I Platný:	8.8.2012   23.12.2016
Posouzení:	návrhová metoda ETAG BOND (EOTA TR 029)
Distanční montáž:	bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; $e_0 = 20 \text{ mm}$ ; $t = 25 \text{ mm}$ Hilti malta: CB-G EG, epoxidová, $f_{c,grout} = 120,00 \text{ N/mm}^2$
Kotevní deska:	$l_x \times l_y \times t = 1020 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ ; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána)
Profil:	U profil; ( $V \times \check{S} \times T \times T$ ) = $30 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$
Základní materiál:	s trhlinami beton, C20/25, $f_{cc} = 25,00 \text{ N/mm}^2$ ; $h = 2000 \text{ mm}$ , Teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C
Montáž:	kotevní otvor vrtaný příklepem, montážní podmínky: suchý
Výztuž:	Žádná výztuž nebo osová vzdálenost výztuže $\geq 150 \text{ mm}$ (jakýkoliv Ø) nebo $\geq 100 \text{ mm}$ ( $\varnothing \leq 10 \text{ mm}$ ) žádná podélná výztuž okraje





## 2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu

Zatěžovací stav: Návrhové zatížení

### Reakce kotvy [kN]

Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

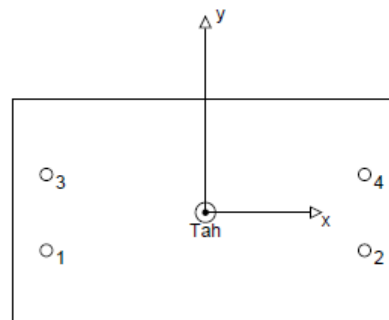
Kotva	Tahová síla	Smyková síla	Smyková síla x	Smyková síla y
1	38,923	0,000	0,000	0,000
2	38,923	0,000	0,000	0,000
3	38,923	0,000	0,000	0,000
4	38,923	0,000	0,000	0,000

max. tlakové přetvoření betonu: - [%]

max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm<sup>2</sup>]

výsledná tahová síla v (x/y)=(0/0): 155,690 [kN]

výsledná tlaková síla v (x/y)=(0/0): 0,000 [kN]



## 3 Tahové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.2)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití $\beta_N$ [%]	Stav
Porušení oceli*	38,923	315,714	13	OK
Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu**	155,690	365,281	43	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	155,690	169,943	92	OK
Porušení rozštěpením**	155,690	452,028	35	OK

\* nejnejpříznivější kotva \*\* skupina kotev (kotvy v tahu)

### 3 Tahové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.2)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití $\beta_N$ [%]	Stav
Porušení oceli*	38,923	315,714	13	OK
Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu**	155,690	365,281	43	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	155,690	169,943	92	OK
Porušení rozštěpením**	155,690	452,028	35	OK

\* nejnepříznivější kotva \*\* skupina kotev (kotvy v tahu)

#### 3.1 Porušení oceli

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	$N_{Sd}$ [kN]
442,000	1,400	315,714	38,923

#### 3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

$A_{p,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{p,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{Rk,ucr,2s}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$S_{cr,Np}$ [mm]	$C_{cr,Np}$ [mm]	$C_{min}$ [mm]
1180704	655360	12,00	810	405	180
$\psi_c$	$\tau_{Rk,cr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1,000	7,00	2,300	1,187	1,037	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$
0	1,000	0	1,000	0,833	1,000
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	$N_{Sd}$ [kN]	
351,858	547,921	1,500	365,281	155,690	

#### 3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

$A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$C_{cr,N}$ [mm]	$S_{cr,N}$ [mm]			
1440000	1000000	750	1500			
$h_{ef}$ [mm]	$C'_{cr,N}$ [mm]	$S'_{cr,N}$ [mm]				
333	500	1000				
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$k_1$
0	1,000	0	1,000	0,808	1,000	7,200
$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	$N_{Sd}$ [kN]			
219,089	1,500	169,943	155,690			

#### 3.4 Porušení rozštěpením

$A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$C_{cr,sp}$ [mm]	$S_{cr,sp}$ [mm]	$\psi_{h,sp}$		
1440000	1000000	500	1000	1,448		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$k_1$
0	1,000	0	1,000	0,808	1,000	7,200
$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	$N_{Sd}$ [kN]			
402,492	1,500	452,028	155,690			

#### 4 Smykové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.3)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití $p_v$ [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici
Porušení oceli (s distanční montáží)*	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici
Porušení vylomením betonu*	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici
Porušení okraje betonu ve směru **	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici

\* nejnepříznivější kotva \*\* skupina kotev (rovnocenné kotvy)

#### 5 Posuny (nejvíce zatížená kotva)

Krátkodobé teplotní zatížení:

$N_{Sk}$	= 28,831 [kN]	$\delta_N$	= 0,063 [mm]
$V_{Sk}$	= 0,000 [kN]	$\delta_V$	= 0,000 [mm]
		$\delta_{NV}$	= 0,063 [mm]

Dlouhodobé teplotní zatížení:

$N_{Sk}$	= 28,831 [kN]	$\delta_N$	= 0,092 [mm]
$V_{Sk}$	= 0,000 [kN]	$\delta_V$	= 0,000 [mm]
		$\delta_{NV}$	= 0,092 [mm]

Poznámka: Posuny vlivem tahové síly jsou platné při poloviční hodnotě předepsaného utahovacího momentu pro bez trhlin beton! Smykové posuny jsou platné za předpokladu žádného tření mezi betonem a kotevní deskou! Mezery mezi kotvou a vrtaným kotevním otvorem a mezery mezi kotvou a otvorem v kotevní desce nejsou v tomto výpočtu zahrnuty!

Přípustné posuny kotev závisí na připevňované konstrukci a musejí být definovány projektantem!

#### 6 Upozornění

- Přerozdělení zatížení do jednotlivých kotev v důsledku pružné deformace kotevní desky není uvažováno. Předpokládá se, že kotevní deska je dostatečně tuhá, aby se nedeformovala, když je vystavena zatížení! Vstupní data a výsledky musí být zkontrolovány zda odpovídají stávajícím podmínkám a zda jsou věrohodné!
- Kontrolu přenosu zatížení do základního materiálu je požadováno provést v souladu s EOTA TR 029 část 7!
- Návrh je platný pouze v případě, když průměry otvorů pro kotvy v kotevní desce nejsou větší než je stanoveno v EOTA TR029, tabulka 4.1! Komentář ohledně větších otvorů je uveden v EOTA TR029, článek 1.1!
- Seznam příslušenství v tomto protokolu slouží pouze jako informace uživateli. V každém případě je třeba dodržovat návod k použití dodávaný s výrobkem, aby byla zajištěna správná instalace.
- Čištění vyvrtaného kotevního otvoru musí být provedeno dle návodu na použití (2x vyfoukat stlačeným vzduchem bez oleje (min. 6bar), 2x vykartáčovat a opět 2x vyfoukat stlačeným vzduchem bez oleje (min. 6bar)).
- Charakteristická pevnost lepicí hmoty (soudržnost) závisí na krátkodobých a dlouhodobých teplotách.
- Podél okraje betonového prvku by měla být provedena podélná výztuž!

**Upevnění je bezpečné!**

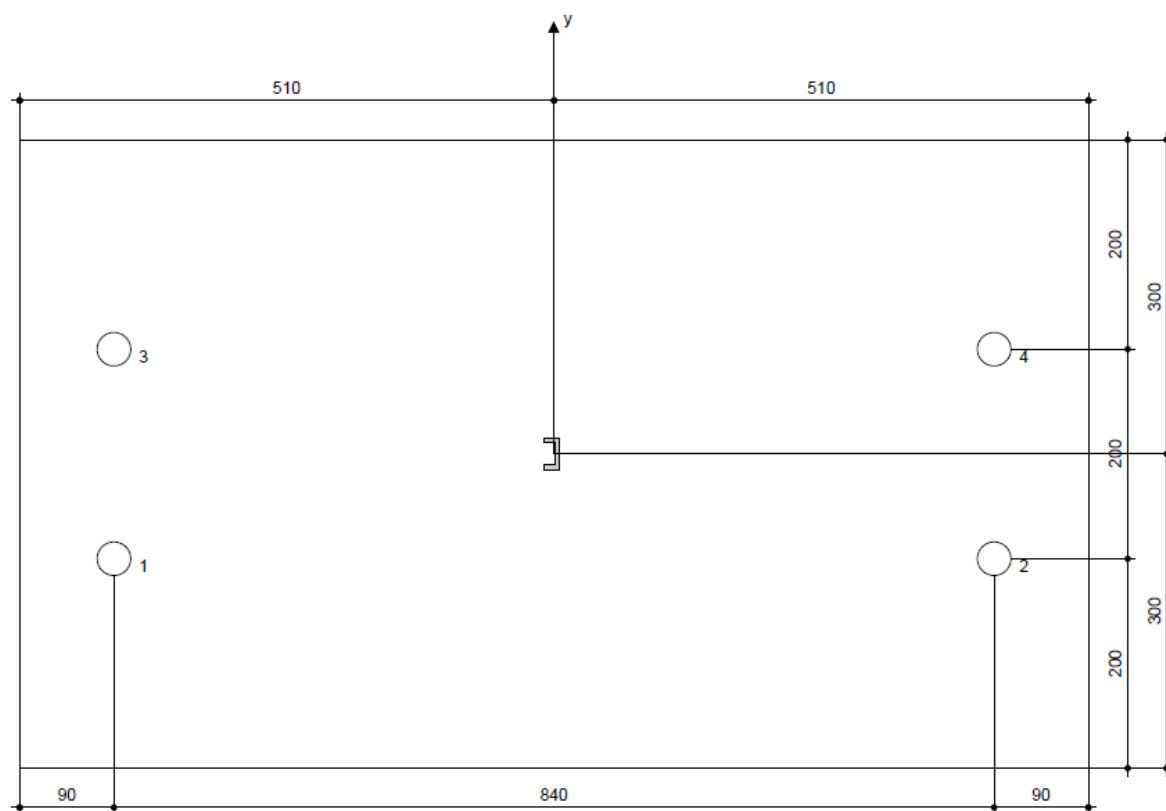
#### 7 Montážní pokyny

Kotevní deska, ocel: -  
 Profil: U profil; 30 x 15 x 4 x 5 mm  
 Průměr otvoru v kotevní desce:  $d_f = 32$  mm  
 Tloušťka kotevní desky (vstup): 25 mm  
 Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána  
 Čištění: Je požadováno kvalitní vyčištění kotevního otvoru

Typ a velikost kotvy: HIT-HY 200-A + Rebar 32mm  
 Utahovací moment: 0,000 kNm  
 Průměr otvoru v základním materiálu: 40 mm  
 Hloubka kotevního otvoru v základním materiálu: 500 mm  
 Minimální tloušťka základního materiálu: 574 mm

##### 7.1 Doporučené příslušenství

Vrtání	Čištění	Osazení
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vhodná pro vrtací kladio</li> <li>Vrták správného průměru</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stlačený vzduch s požadovaným příslušenstvím pro vyfoukání kotevního otvoru ode dna</li> <li>Odpovídající průměr drátkového kartáče</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Výtlačovací přístroj včetně vodící kazety a směšovače</li> <li>U hlubokých instalací je nezbytné použít výtlačovací pístovou koncovku</li> <li>Momentový klíč</li> </ul>



Souřadnice kotev [mm]

Kotva	x	y	C <sub>x</sub>	C <sub>-x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>-y</sub>
1	-420	-100	180	1020	500	700
2	420	-100	1020	180	500	700
3	-420	100	180	1020	700	500
4	420	100	1020	180	700	500



## 9 Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena především na návrh prvků nosné ocelové konstrukce. Ocelová konstrukce je navržena tak aby odpovídali místním a provozním podmínkám rozhledny. Největší pozornost byla věnována zatížení větrem, které bylo stanoveno na základě EN 1991-4.

V softwaru AutoCad 2015 byl vytvořen osový model konstrukce, který byl importován do programu Scia Engineer 2014, ve kterém byl převeden na model statický. Statický model je v softwaru zatížen kombinacemi zatěžovacích stavů. Výsledné hodnoty softwaru jsou na dále využity pro návrh prvků hlavní nosné konstrukce. Návrh ocelové konstrukce vyhoví na mezní stavy.

## 10 Seznam použitých materiálů

### Normy

- [1] ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, březen 2004. 76 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, březen 2004. 44 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, červen 2005. 52 s.
- [4] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, duben 2007. 124 s.
- [5] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 96 s.
- [6] ČSN EN 1993-1-8. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 128 s.
- [7] ČSN EN 1993-3-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry. Praha: Český normalizační institut, září 2008. 80 s.
- [8] ČSN ISO 12494. Zatížení konstrukcí námrazou. Praha: Český normalizační institut, 2010

### Odborná literatura

- [9] Marek, P. a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb, praha: SNTL; 1985.